



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΚΛΑΔΟΣ ΘΩΜΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΣΧΕΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑΣ ΚΑΙ
ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2024





ΚΛΑΔΟΣ ΘΩΜΑΣ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 6118

ΣΧΕΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΩΝ
ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

Επιβλέπων:

Δημήτριος Μπαμπζέλης



© Κλάδος Θωμάς, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΣΧΕΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΤΑΓΙΓΔΑΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΩΝ
ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ–
Διπλωματική Εργασία

© Klados Thomas, School of Geology, Dept. of Meteorology and Climatology ,
2024

All rights reserved.

**Storm Cell Characteristics and Instability indices for the Region of Central
Macedonia Greece.**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Η συστηματική παρατήρηση της ατμόσφαιρας βοηθά τους μετεωρολόγους στην πρόγνωση του καιρού παγκοσμίως. Τα μετεωρολογικά ραντάρ είναι ένα σύστημα τηλεπισκόπισης το οποίο χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση φαινομένων στην ατμόσφαιρα σε πραγματικό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, με τη σωστή χρήση των μετεωρολογικών ραντάρ λαμβάνουμε σημαντικές πληροφορίες για την ατμόσφαιρα και τις συνθήκες που συμβαίνουν σε αυτή. Ένα επίσης χρήσιμο εργαλείο στη μετεωρολογία αποτελούν, εδώ και δεκαετίες οι ραδιοβολίσεις. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται συσχέτιση των δεδομένων κυττάρων καταιγίδων από το μετεωρολογικό ραντάρ και των δεικτών αστάθειας που προκύπτουν από τη ραδιοβόλιση για την περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας. Ειδικότερα μελετάται ο συντελεστής συσχέτισης των χαρακτηριστικών των κυττάρων και των δεικτών αστάθειας με σκοπό τον εντοπισμό εκείνων των δεικτών αστάθειας που σχετίζονται καλύτερα με τα χαρακτηριστικά των καταιγίδων. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν την περίοδο Απριλίου - Σεπτεμβρίου από το 2011 έως και το 2020. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των κυττάρων καταιγίδων και συγκεκριμένων δεικτών αστάθειας γεγονός το οποίο θα μπορούσε να συμβάλλει σε μία καλύτερη εκτίμηση του δυναμικού των καταιγίδων για την περιοχή.



Systematic observation of the atmosphere helps meteorologists forecast the weather worldwide. Meteorological radars are a remote sensing system used to monitor atmospheric phenomena in real time. More specifically, with the correct use of meteorological radars we obtain important information about the atmosphere and the conditions that occur in it. Radio broadcasts have also been a useful tool in meteorology for decades. In the present work, a correlation is made between storm cell data from meteorological radar and instability indices derived from radio polling for the region of Central Macedonia. In particular, the correlation coefficient of cell characteristics and instability indices is studied in order to identify those instability indices that are best related to storm characteristics. The data covers the period April - September from 2011 to 2020. The results showed that there is a correlation between storm cells and specific instability indices which could contribute to a better assessment of storm potential for the region.



Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους για την στήριξη, την βοήθεια και την έμπνευση που μου παρείχαν σε όλη την διάρκεια της φοίτησης μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Δημήτρη Μπαμπζέλη για την αμέριστη συμπαράσταση και εκτίμηση που μου έδειξε ως προπτυχιακός φοιτητής. Αποτέλεσε πηγή έμπνευσης για την εκπόνηση της πτυχιακής και η καθοδήγηση που μου παρείχε ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον κ. Δημήτρη Μπρίκα, ο οποίος εργάζεται στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία στη Θεσσαλονίκη, για τις γνώσεις που μου μετέδωσε, τις πολύτιμες υποδείξεις και το ενδιαφέρον του καθ' όλη τη διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης στην ΕΜΥ αλλά και μετά το πέρασμά της.

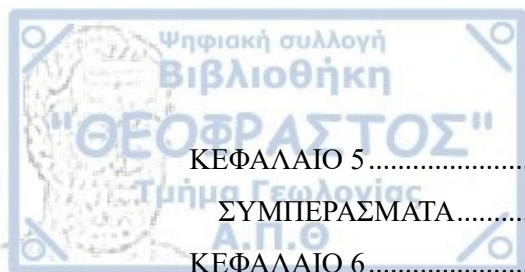
Παράλληλα, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τομέα της Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας οι οποίοι πάντα με προθυμία με συμβούλευσαν και ενίσχυσαν το επιστημονικό μου επίπεδο και τις γνώσεις μου.

Τέλος, ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και ιδιαίτερα στους γονείς μου Γιώργο και Σοφία, που με υπομονή και κουράγιο πρόσφεραν την απαραίτητη ηθική στήριξη για την ολοκλήρωση των στόχων μου.



Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
Ευχαριστίες	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	11
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΡΑΝΤΑΡ.....	11
2.1 Γενικά.....	11
2.2 Ραντάρ	12
2.3 Ιστορική αναδρομή.....	12
2.4 Χαρακτηριστικά Μετεωρολογικού ραντάρ.....	13
2.5 Τύποι ραντάρ	14
2.5.1 Ραντάρ Doppler	14
2.5.2 Συμβατικό ραντάρ	15
2.5.3 Ραντάρ διπλής πολικότητας.....	15
2.6 Αρχή λειτουργίας ραντάρ	16
2.7 Μετεωρολογικά ραντάρ στην Ελλάδα	17
2.8 Μέθοδοι σάρωσης	20
2.8.1 Plan Position Indicator	21
2.8.2 Range Height Indicator	22
2.9 Σφάλματα μετεωρολογικού ραντάρ και τρόποι αντιμετώπισης.....	23
2.9.1 Σφάλματα που οφείλονται στο ανάγλυφο του εδάφους	23
2.9.2 Σφάλματα που οφείλονται στην εξασθένιση του σήματος της δέσμης.....	24
2.10 Ραδιοβόλιση	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	30
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	30
3.1 Δεδομένα	30
3.1.1 Δεδομένα ραντάρ.....	30
3.1.2 Δεδομένα ραδιοβόλισης	33
3.1.3 Συντελεστής συσχέτισης	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	41
ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	41
4.1 Διαγράμματα συντελεστή συσχέτισης.....	41



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	49
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
ΕΙΚΟΝΕΣ – ΣΧΗΜΑΤΑ	51



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την ονομασία μετεωρολογική παρατήρηση αναφερόμαστε στις συνθήκες του καιρού και στις τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων που επικρατούν σε διάφορες τοποθεσίες μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή ή σημειώθηκαν στο πολύ πρόσφατο παρελθόν (τις τελευταίες τρεις ώρες).

Τα στοιχεία που περιέχονται σε μία μετεωρολογική παρατήρηση είναι : η νέφωση, η ταχύτητα και η ένταση του ανέμου, η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η βαρομετρική πίεση και τα χαρακτηριστικά του καιρού, δηλαδή η βροχή, το χιόνι, η καταιγίδα , η ορατότητα, τα νέφη, το είδος των νεφών, κλπ.

Στη μετεωρολογία, η πρόγνωση του καιρού βασίζεται κατά κόρον στην ανάλυση, τη μελέτη και την επεξεργασία των προγνωστικών χαρτών όπως αποτυπώνονται από τις παραμέτρους: θερμοκρασία , πίεση , υγρασία , ταχύτητα / διεύθυνση ανέμων, υετός.

Η επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων, προέρχεται κυρίως από τα μετεωρολογικά μπαλόνια που συλλέγουν δύο φορές την ημέρα στοιχεία της ατμόσφαιρας και ύστερα στέλνονται προς ανάλυση στα παγκόσμια μετεωρολογικά μοντέλα. Αυτή η μέθοδος είναι η ραδιοβόλιση. Τα αποτελέσματα της ραδιοβόλισης απεικονίζονται σε ένα θερμοδυναμικό διάγραμμα το οποίο ονομάζεται τεφίγραμμα. Εκτός από τις καθημερινές ραδιοβολίσεις, σημαντικό ρόλο στην συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων της ατμόσφαιρας έχουν τα μετεωρολογικά ραντάρ. Όλα αυτά αναλύονται στο 2^ο κεφάλαιο της πτυχιακής.

Στο 3^ο κεφάλαιο εμφανίζονται τα δεδομένα από το μετεωρολογικό ραντάρ και τις ραδιοβολίσεις που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη διατριβή. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται τα χαρακτηριστικά του μετεωρολογικού ραντάρ αλλά και οι δείκτες αστάθειας και σταθερότητας που προκύπτουν από μια ραδιοβόλιση. Ακόμα αναφέρεται ο συντελεστής συσχέτισης, ο οποίος αποτέλεσε την μέθοδο για να βγουν τα κατάλληλα συμπεράσματα.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, πριν την βιβλιογραφία, αποτυπώνονται τα διαγράμματα από τους συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων της ραδιοβόλισης και του μετεωρολογικού ραντάρ και ύστερα αναγράφονται τα συμπεράσματα.

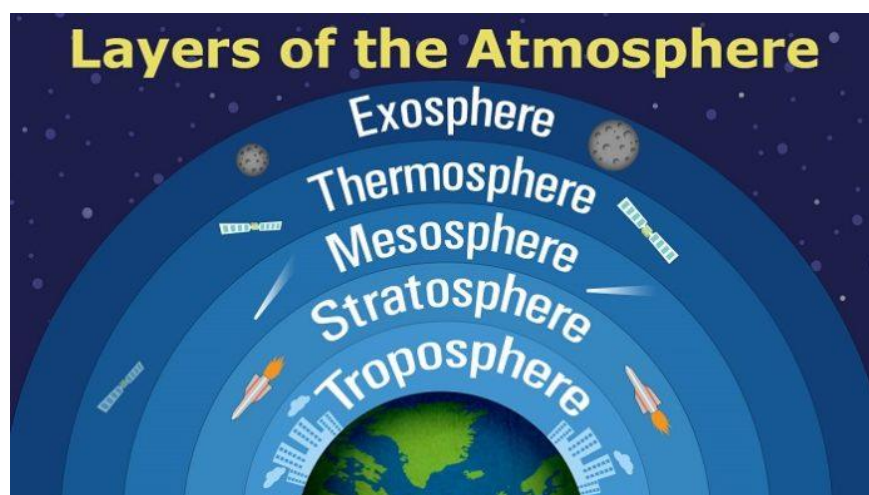
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΡΑΝΤΑΡ

2.1 Γενικά

Η ατμόσφαιρα αποτελεί το αέριο περίβλημα της Γης το οποίο την ακολουθεί σε όλες της τις κινήσεις. Ίχνη από την ατμόσφαιρα έχουν βρεθεί μέχρι και 3.500 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης, μέχρι εκεί δηλαδή όπου υπάρχει η επίδραση της γήινης βαρύτητας. Η ατμόσφαιρα διαιρείται σε πέντε βασικά στρώματα ανάλογα με τη θερμοκρασία τα οποία με σειρά από το πιο κοντινό στην Γη είναι :

- 1) Τροπόσφαιρα, η οποία εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης και φτάνει μέχρι τα 18 χιλιόμετρα περίπου, όπου το ανώτερο της όριο είναι η τροπόπαυση και η θερμοκρασία σε εκείνο το σημείο φτάνει μέχρι και τους -60°C .
- 2) Στρατόσφαιρα, η οποία εκτείνεται από την τροπόπαυση και συνεχίζει μέχρι τα 50 χιλιόμετρα περίπου, όπου το ανώτερο της όριο είναι η στρατόπαυση και η θερμοκρασία σε εκείνο το σημείο φτάνει τους 15°C .
- 3) Μεσόσφαιρα, η οποία εκτείνεται από τη στρατόπαυση μέχρι τα 80 χιλιόμετρα, όπου και βρίσκεται η μεσόπαυση.
- 4) Θερμόσφαιρα ή Ιονόσφαιρα, η οποία εκτείνεται από τη μεσόπαυση και φτάνει μέχρι τα 600-800 χιλιόμετρα, όπου το ανώτερο όριο είναι η θερμόπαυση και τέλος η
- 5) Εξώσφαιρα, η οποία ξεκινά από τη θερμόπαυση και φτάνει μέχρι τα όρια της ατμόσφαιρας, δηλαδή εκτείνεται έως το σημείο όπου παύει να επιδρά η βαρύτητα στην Γη (Γεωσύστημα «Γαία», Σπύρος Β. Παυλίδης- Αλέξανδρος Α. Χατζηπέτρος, 2018).



Εικόνα 1 Τα στρώματα της ατμόσφαιρας

2.2 Ραντάρ

Το ραντάρ ή αλλιώς ραδιοεντοπιστής, όπως ονομάζεται στα ελληνικά, προέρχεται από την ένωση των αγγλικών λέξεων «**radio detection and ranging** » που σημαίνει «Ανίχνευση με ηλεκτρομαγνητικά κύματα και μέτρηση αποστάσεως». Αυτό που κάνει το ραντάρ είναι να παρατηρεί ακίνητους αλλά και κινητούς στόχους με τη βοήθεια του ηλεκτρομαγνητικού εντοπισμού σε αποστάσεις και συνθήκες όπου ο άνθρωπος δεν μπορεί να δει.

Με την πάροδο των χρόνων ο άνθρωπος άρχισε να ενδιαφέρεται πιο πολύ για τις επιστήμες και πιο συγκεκριμένα με αυτή της μετεωρολογίας. Η επιστήμη αυτή μπορούσε να εξηγήσει φαινόμενα που ο άνθρωπος για εκείνη την εποχή δεν μπορούσε να καταλάβει μόνος του. Πλέον, με την εξέλιξη της τεχνολογίας υπάρχουν τα κατάλληλα εφόδια, όπως τα μετεωρολογικά ραντάρ τα οποία βοηθούν σε πολλούς τομείς τους ανθρώπους.

Το μετεωρολογικό ραντάρ ή ραντάρ καιρού, όπως αλλιώς το συναντάμε, είναι ένα επίγειο όργανο τηλεπισκόπησης της ατμόσφαιρας όπου ανιχνεύει και εντοπίζει νετό ή σύννεφα σε μεγάλες αποστάσεις (της τάξης των 200 km). Αυτό μπορεί και καλύπτει αρκετά μεγάλη γεωγραφική έκταση, ενώ ακόμα παρατηρεί και ανιχνεύει πυρήνες καταιγίδων και υδρομετέωρα, όπως χαλάζι και σταγόνες βροχής, με πολλή μεγάλη ακρίβεια. Επίσης, μπορεί να υπολογίσει τη θέση, τη κίνηση και την έντασή τους. Τέλος, το μετεωρολογικό ραντάρ μπορεί να προβλέψει την μελλοντική θέση και την ένταση των κατακρημνισμάτων.

2.3 Ιστορική αναδρομή

Το πρώτο ραντάρ κατασκευάστηκε κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου κατά κύρια βάση για πολεμικούς λόγους. Η θεμελιώδης αρχή πάνω στην οποία στηρίχθηκε η λειτουργία των ραντάρ ανακαλύφθηκε από τον Γερμανό φυσικό Heinrich Hertz το 1887. Αυτός παρατήρησε ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ή αλλιώς ραδιοκύματα (όπως τα συναντάμε) έχουν παρόμοιες ιδιότητες με αυτές του φωτός, δηλαδή μπορούν να ανακλαστούν από διάφορα αντικείμενα και να εστιάσουν σε δέσμες με την χρήση των κατάλληλων ανακλαστήρων (Ραντάρ, Γεράσιμος Σ. Λιναρδάτος – Διονύσης Σ. Λιναρδάτος, 2021).



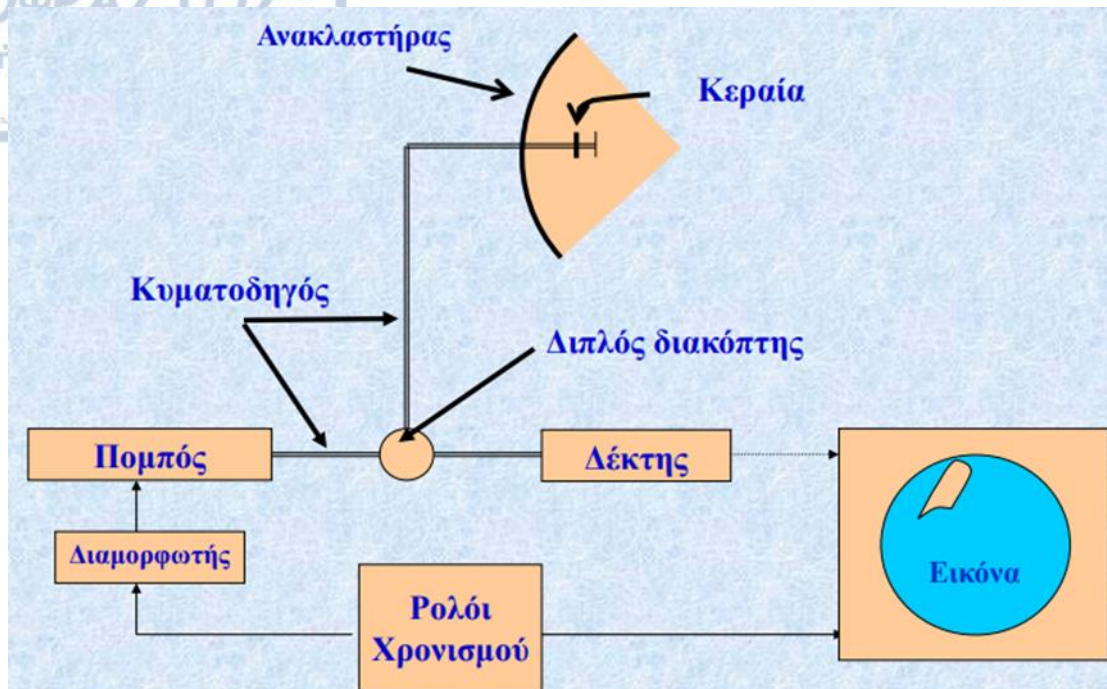
Εικόνα 2: Ο φυσικός Heinrich Hertz

2.4 Χαρακτηριστικά Μετεωρολογικού ραντάρ

Αρχικά και για να εξηγήσουμε ένα μετεωρολογικό ραντάρ πρέπει πρώτα να δούμε από τι πρέπει να αποτελείται για να λειτουργήσει σωστά. Αυτό πρέπει να έχει:

- i) Έναν πομπό, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη δημιουργία σημάτων υψηλής συχνότητας που θα σταλθούν αργότερα.
- ii) Μια κεραία/πίατο, τα οποία είναι υπεύθυνα για την αποστολή και τη λήψη αυτού του σήματος υψηλής συχνότητας που θα παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη θέση των νεφών και των διάφορων υδρομετεώρων.
- iii) Έναν επεξεργαστή, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων.
- iv) Ένα δέκτη, όπου ανιχνεύει και ενισχύει το σήμα που λαμβάνει από την κεραία ώστε να το διαβάσει.
- v) Ένα σύστημα, όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων (Μιχαήλ Σιούτας, 2018).

Όλα αυτά που προαναφέρθηκαν μπορούμε να τα δούμε καλύτερα στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 3: Περιεχόμενα μετεωρολογικού ραντάρ

2.5 Τύποι ραντάρ

Τα ραντάρ που συναντάμε στην μετεωρολογία είναι τριών τύπων: τα Doppler, τα συμβατικά (conventional) και τα διπλής πολικότητας (dual pol or dual polarization). Ακολουθώντας, θα αναλύσουμε τον κάθε έναν τύπο ραντάρ αναλυτικά:

2.5.1 Ραντάρ Doppler

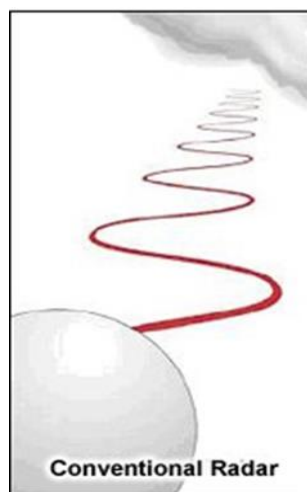
Το ραντάρ αυτό γνωρίζουμε ότι μας δίνει έγκαιρες και ακριβείς πληροφορίες, ενώ μπορεί και διακρίνει τις κινήσεις του αέρα μέσα σε μια καταιγίδα. Έτσι, οι μετεωρολόγοι μπορούν να προβλέψουν τη σοβαρότητα και τη θέση του καιρού με μεγάλη ακρίβεια και με αυτό τον τρόπο να αποφευχθούν σοβαροί κίνδυνοι. Παρακάτω, διακρίνουμε διάφορες εικόνες από ραντάρ Doppler, είτε βρίσκονται σε χαμηλά υψόμετρα, δηλαδή στο αεροδρόμιο, είτε σε μεγάλα υψόμετρα. Γενικά, αυτό το είδος ραντάρ θα μπορούσαμε να πούμε ότι μοιάζει με μια μπάλα.



Εικόνα 4: Ραντάρ Doppler

2.5.2 Συμβατικό ραντάρ

Για το δεύτερο τύπο ραντάρ, δηλαδή των συμβατικών, γνωρίζουμε ότι δεν μπορούν να μετρήσουν καλά τη ταχύτητα, ενώ δίνουν πληροφορίες για τη θέση και την ένταση της βροχόπτωσης. Γενικά, δίνουν μια στατική εικόνα και η διαφορά τους με τα ραντάρ διπλής πολικότητας (που θα αναλυθούν στη συνέχεια) είναι ότι δουλεύουν μόνο στο οριζόντιο επίπεδο. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο τρόπος λειτουργίας ενός συμβατικού ραντάρ.



Εικόνα 5: Συμβατικό ραντάρ (research.atmos.ucla.edu)

2.5.3 Ραντάρ διπλής πολικότητας

Για το τρίτο και τελευταίο είδος ραντάρ, δηλαδή τα διπλής πολικότητας, ξέρουμε ότι λαμβάνουν κύματα και στα δύο επίπεδα, τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο επίπεδο, με αποτέλεσμα να δίνουν καλύτερες εκτιμήσεις για το είδος, τη μορφή και το μέγεθος του νετού. Ακόμα, βοηθάνε τους μετεωρολόγους στη διάκριση ανάμεσα σε

δυνατή βροχή, χιόνι και χαλάζι, εκτιμούν με μεγάλη ακρίβεια βροχοπτώσεις και ανιχνεύουν μη μετεωρολογικούς ήχους, όπως είναι τα πτηνά. Επίσης, ανιχνεύουν τις συνθήκες με τις οποίες παγιοποιείται το αεροσκάφος και μπορούν να αναγνωρίσουν το στρώμα τήξης. Επιπρόσθετα, το παλιό μοντέλο των ραντάρ διπλής πολικότητας (NWS WSR-88D) μετέφερε και λάμβανε σήματα μόνο στο οριζόντιο επίπεδο, ενώ τα σύγχρονα μοντέλα μεταφέρουν και λαμβάνουν σήματα και στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο.

2.6 Αρχή λειτουργίας ραντάρ

Θα μπορούσαμε να παρομοιάσουμε την λειτουργία του ραντάρ με αυτή της νυχτερίδας. Το μετεωρολογικό ραντάρ εκπέμπει ένα κύμα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Όταν ένα ραδιοκύμα πετύχει έναν στόχο με διαφορετική διηλεκτρική σταθερά από αυτή που έχει το μέσο διάδοσής του, όπως είναι ο αέρας για παράδειγμα, τότε ανακλάται και επιστρέφει πίσω στο ραντάρ.

Για να μετρήσουμε την απόσταση στην οποία βρίσκεται ο στόχος, τότε πρέπει να υπολογίσουμε την μέτρηση του χρόνου από την στιγμή που εκπέμπεται ο παλμός μέχρι να επιστρέψει το σήμα του. Για τη διεύθυνση του στόχου γνωρίζουμε ότι καθορίζεται από το αζιμούθιο και από το ύψος της κεραίας από τη στιγμή που το σήμα επιστρέφει. Τέλος, για την ένταση που λαμβάνουμε από τον στόχο, γνωρίζουμε ότι καθορίζεται από πολλούς παράγοντες όπως είναι: η απόσταση από τον πομπό, η γωνία πρόσπτωσης, η ενέργεια που φτάνει στον στόχο αλλά και από την αγωγιμότητα, ενώ ακόμα και από κάποια φυσικά χαρακτηριστικά του στόχου όπως είναι το μέγεθος του. (Ευάγγελος Μπαλτάς, 1996)

Αν θέλουμε να βρούμε την ισχύ (P_o) που επιστρέφει στο ραντάρ, θα την βρούμε από τον παρακάτω τύπο:

$$P_o = \frac{(P_t * g * A_o)}{4 * \pi * r^2} \quad (1)$$

Όπου, P_t : μεταδιδόμενη ενέργεια

r : απόσταση στόχου από το ραντάρ

g : η απολαβή της κεραίας, αριθμός που μετρά τους βαθμούς συγκέντρωσης της ισχύος

Ο στόχος με τη σειρά του επιστρέφει ένα ποσό ενέργειας το οποίο είναι ίσο με:

$$P_r = \frac{(P_o * A_e)}{4 * \pi * r^2} \quad \text{και από τον τύπο (1) προκύπτει ότι}$$

$$P_r = \frac{(P_t * g * A_o * A_e)}{(4 * \pi)^2 * r^4}$$

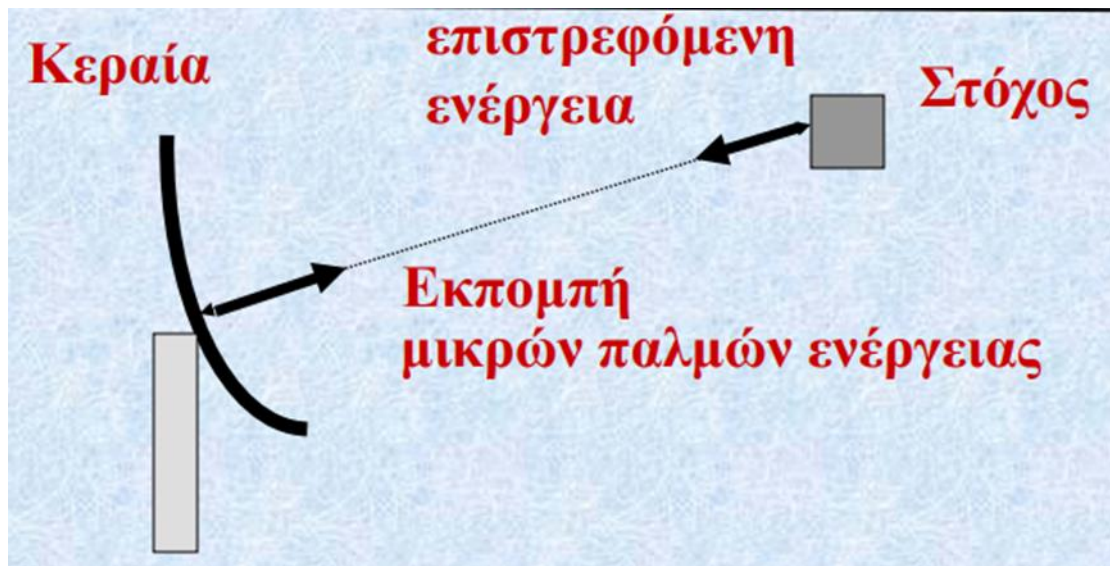
Όπου, A_e : ενεργός επιφάνεια που επιστρέφει την ενέργεια και προκύπτει από τον τύπο:

$$Ae = \frac{(g \cdot \lambda^2)}{4 \cdot \pi}$$

Ευάγγελος, 1996)

και έχουμε ότι το λ είναι το μήκος κύματος (Μπαλτάς

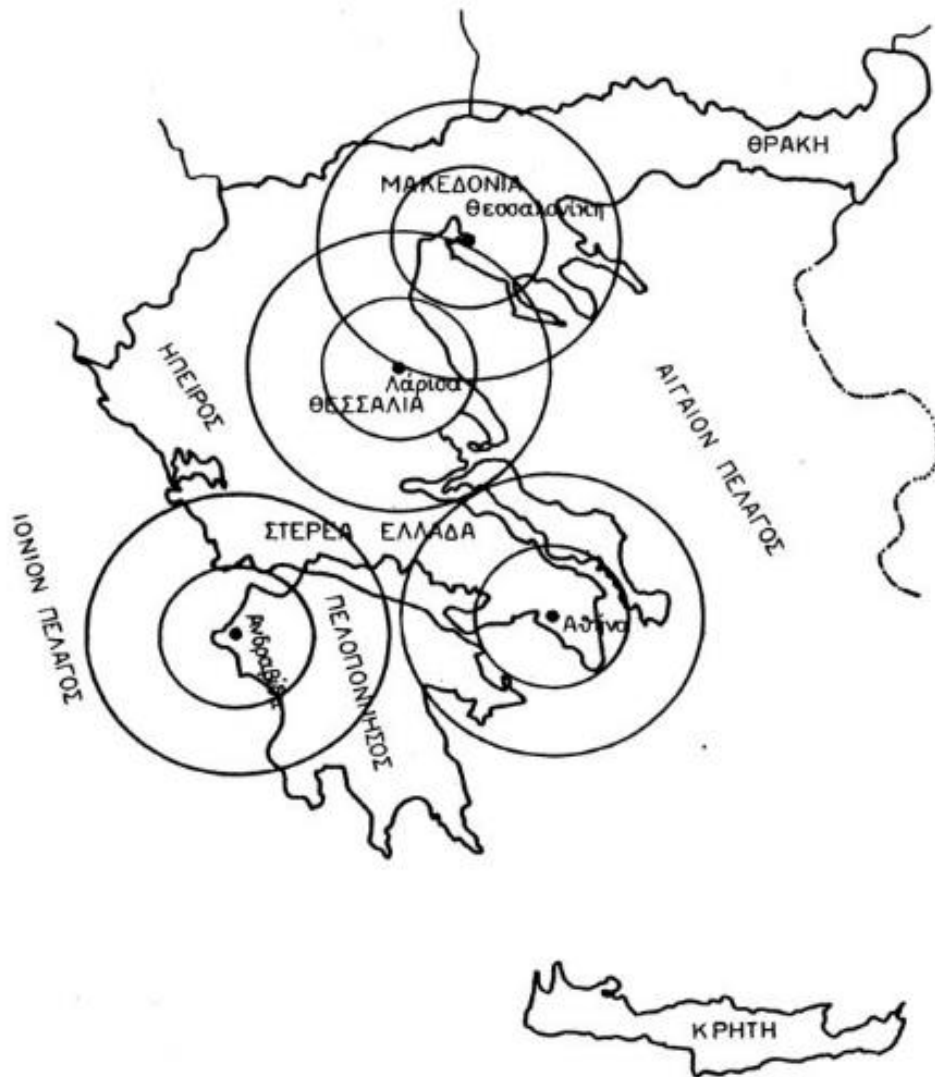
Στην ακόλουθη εικόνα μπορούμε να δούμε πιο αναλυτικά την λειτουργία του ραντάρ όπως ακριβώς προαναφέρθηκε.



Εικόνα 6: Αρχή λειτουργίας ραντάρ

2.7 Μετεωρολογικά ραντάρ στην Ελλάδα

Τα μετεωρολογικά ραντάρ που λειτουργούν στην χώρα μας είναι τέσσερα, από τα οποία δυο ανήκουν στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) και δυο στον Οργανισμό Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛ.Γ.Α). Υπάρχουν δυο ειδών μετεωρολογικά ραντάρ στην Ελλάδα. Τα S-band (10 cm) τα οποία βρίσκονται στην Θεσσαλονίκη και στη Λάρισα και τα C-band (5 cm) τα οποία βρίσκονται στην Αθήνα και στη Ανδραβίδα. Η κύρια τους χρήση είναι για την ενημέρωση καιρού και για τις πτήσεις της Πολεμικής Αεροπορίας, ενώ για τον ΕΛ.Γ.Α εφαρμόζεται την καλοκαιρινή περίοδο το πρόγραμμα αντιχαλαζικής προστασίας (Karakostas, 1984). Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε στον χάρτη της Ελλάδας τα τέσσερα ραντάρ και τους ομόκεντρους κύκλους 50 και 100km, αποστάσεις που καλύπτουν.



Εικόνα 7: Μετεωρολογικά ραντάρ στην περιοχή της Ελλάδας

Φωτογραφίες των ραντάρ αυτών εμφανίζονται παρακάτω



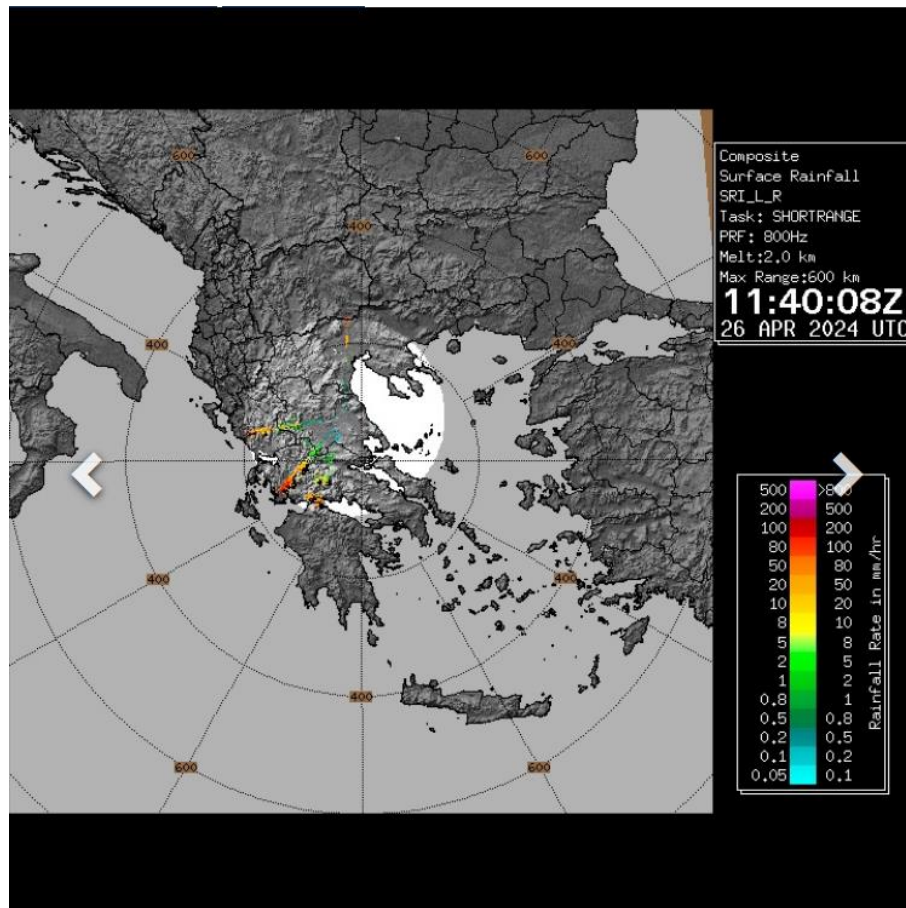
Εικόνα 8 :Μετεωρολογικό ραντάρ στην περιοχή του Αεροδρομίου Θεσσαλονίκης

Στην παραπάνω εικόνα, το ραντάρ είναι από την περιοχή του αεροδρομίου της Θεσσαλονίκης όπου συνεργάζεται με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) και με τον Οργανισμό Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛ.Γ.Α).



Εικόνα 9 :Μετεωρολογικό ραντάρ από την περιοχή της Θεσσαλίας

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται το μετεωρολογικό ραντάρ που στεγάζεται στην περιοχή της Θεσσαλίας το οποίο ανήκει στην εταιρεία 3Δ και μισθώνεται από τον ΕΛ.Γ.Α κατά τη διάρκεια της αντιχαλαζακής περιόδου. Οι μετρήσεις του μετεωρολογικού ραντάρ έχουν ακρίβεια μέχρι και 200km και μπορούν να λειτουργήσουν σε όλες τις συνθήκες, ενώ ακόμα μπορούν να εντοπίσουν και να αναλύσουν όλα τα υδρομετέωρα.



Εικόνα 10: Εικόνα από μετεωρολογικό ραντάρ της Ε.Μ.Υ την ημέρα 26/04/2024

Στην εικόνα 10 αποτυπώνεται μια εικόνα από μετεωρολογικό ραντάρ της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ) για την 26/4/2024.

2.8 Μέθοδοι σάρωσης

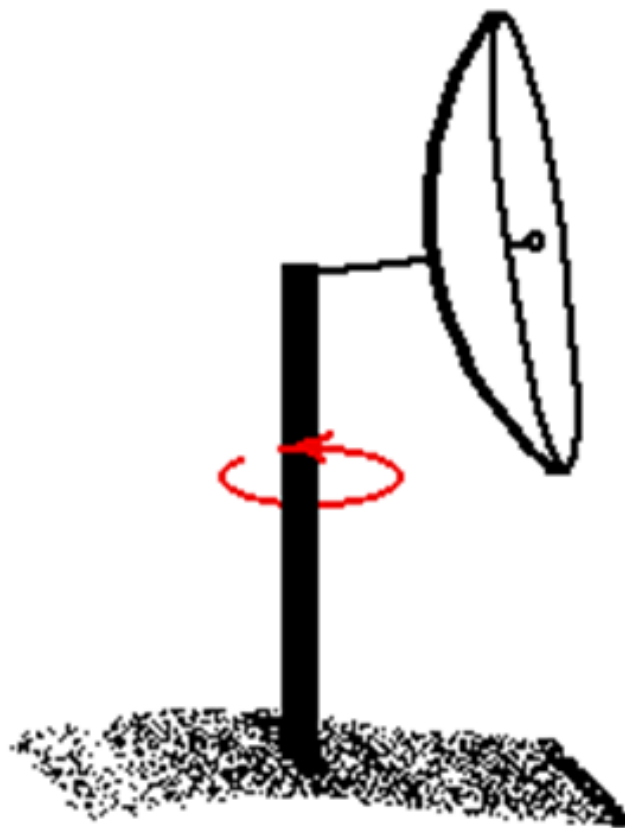
Κατά τη χρήση των μετεωρολογικών ραντάρ χρησιμοποιούνται δυο μέθοδοι σάρωσης. Η πρώτη είναι η Plan Position Indicator (PPI) και η δεύτερη η Range Height Indicator (RHI).

2.8.1 Plan Position Indicator

Κατά τη πρώτη μέθοδο σάρωσης, γνωρίζουμε ότι παραμένει σταθερή η γωνία ανύψωσης του ραντάρ (γωνία δέσμης από ραντάρ με το έδαφος) και μεταβάλλεται η γωνία του αζιμούθιου (γωνία δέσμης από ραντάρ με τον Βορρά). Τα κύματα με αυτή την μέθοδο χαρτογραφούνται στο οριζόντιο επίπεδο. Ακόμα, υπάρχουν άλλοι δυο τρόποι σάρωσης με αυτή τη μέθοδο:

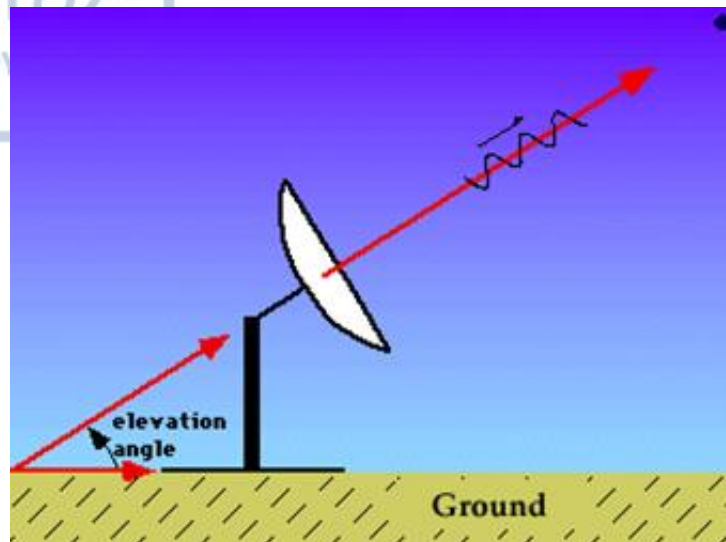
- i) Η σάρωση επιτήρηση, όπου το ραντάρ περιστρέφεται κατά 360°
- ii) Η σάρωση τομέα, όπου το ραντάρ περιστρέφεται με γωνία λιγότερο από τις 360° .

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την πρώτη μέθοδο σάρωσης:

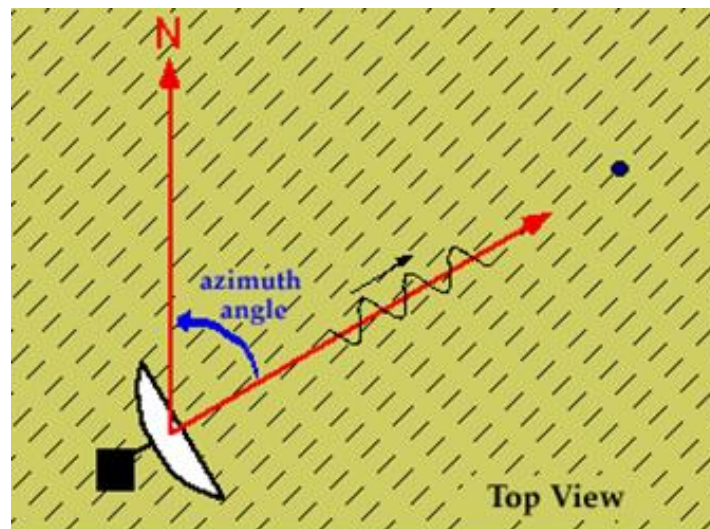


Εικόνα 11: Μέθοδος σάρωσης Plan Position Indicator

Επίσης στις παρακάτω δύο εικόνες βλέπουμε τη γωνία ανύψωσης, η οποία είναι η γωνία μεταξύ της οριζόντιας και της οπτικής επαφής με ένα αντικείμενο πάνω από το οριζόντιο, ενώ και τη γωνία αζιμούθιου η οποία είναι η γωνία της δέσμης του ραντάρ σε σχέση με τον Βορρά:



Εικόνα 12 :Γωνία ανύψωσης ραντάρ

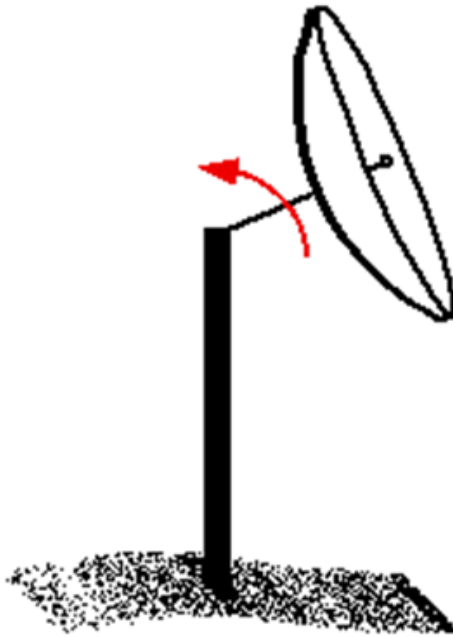


Εικόνα 13 :Γωνία αζιμούθιου ραντάρ

2.8.2 Range Height Indicator

Στην δεύτερη μέθοδο σάρωσης, ουσιαστικά, συμβαίνουν τα ακριβώς αντίθετα από την πρώτη περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, παραμένει σταθερή η γωνία του αζιμούθιου ενώ μεταβάλλεται η γωνία ανύψωση, η οποία περιστρέφεται από την οριζόντια μέχρι το ζενίθ. Ακόμα, τα κύματα σε αυτή την περίπτωση χαρτογραφούνται στο κατακόρυφο επίπεδο.

Στην ακόλουθη εικόνα παρατηρούμε αυτή τη μέθοδο σάρωσης:



Εικόνα 14 :Μέθοδος σάρωσης Range Height Indicator

2.9 Σφάλματα μετεωρολογικού ραντάρ και τρόποι αντιμετώπισης

Το μετεωρολογικό ραντάρ μπορεί πολλές φορές να εμφανίσει σφάλματα στα αποτελέσματα του τα οποία οφείλονται σε διάφορους παράγοντες που θα αναλυθούν ακολούθως.

2.9.1 Σφάλματα που οφείλονται στο ανάγλυφο του εδάφους

Όταν το μετεωρολογικό ραντάρ στέλνει τη δέσμη, αυτή μπορεί να προσκρούσει πάνω σε ανώμαλο έδαφος και έτσι ο ήχος που θα επιστραφεί θα είναι πολύ δυνατός γνωστός και σαν «ground clutter». Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα για εκείνη την περιοχή του εδάφους να μην υπάρξει πληροφορία και άρα δεδομένα. Ένας τρόπος αντιμετώπισης σε αυτό το σφάλμα είναι η αλλαγή της θέσης όπου βρίσκεται το ραντάρ, όπως είναι σε ένα ψηλό βουνό όπου δεν θα υπάρχουν παρεμβολές στο σήμα. Όμως, ένα αρνητικό με αυτή τη μέθοδο είναι ότι μπορεί να μειωθεί η οπτική εικόνα του ραντάρ.

2.9.2 Σφάλματα που οφείλονται στην εξασθένιση του σήματος της δέσμης

Σε αυτή τη περίπτωση το σφάλμα που προκαλείται στο ραντάρ μπορεί να προέρχεται από δυο είδη εξασθένισης του σήματος, το πρώτο οφείλεται στα ατμοσφαιρικά αέρια που περιέχει η ατμόσφαιρα και το δεύτερο από κάποια καταιγίδα.

Για την πρώτη περίπτωση εξασθένισης, αν επιλέξουμε ένα μήκος κύματος μεγαλύτερο από 3 εκατοστά τότε η εξασθένιση είναι αμελητέα. Τα ατμοσφαιρικά αέρια, ωστόσο, που προκαλούν σοβαρή εξασθένιση στο σήμα είναι το οξυγόνο και οι υδρατμοί που υπάρχουν τόσο στα νέφη αλλά κυρίως στις καταιγίδες.

Για τη δεύτερη περίπτωση εξασθένισης, δηλαδή για αυτή που οφείλεται σε καταιγίδα γνωρίζουμε ότι είναι πολύ μεγάλη γιατί εξαρτάται από τον ρυθμό της βροχόπτωσης και το μήκος κύματος. Έτσι, όταν υπάρχουν απλά νέφη η εξασθένιση είναι μικρή, ενώ ακόμα και σε περιπτώσεις χιονιού ισχύει το ίδιο, διότι ο ρυθμός της χιονόπτωσης είναι πολύ χαμηλός. Όμως, στην περίπτωση του χαλαζιού μπορεί να υπάρξει πρόβλημα στην ένδειξη της εξασθένισης και αυτό οφείλεται στην ένταση, στην διάρκεια και στην περιοχή όπου καλύπτει αυτό το σπάνιο μετεωρολογικό φαινόμενο.

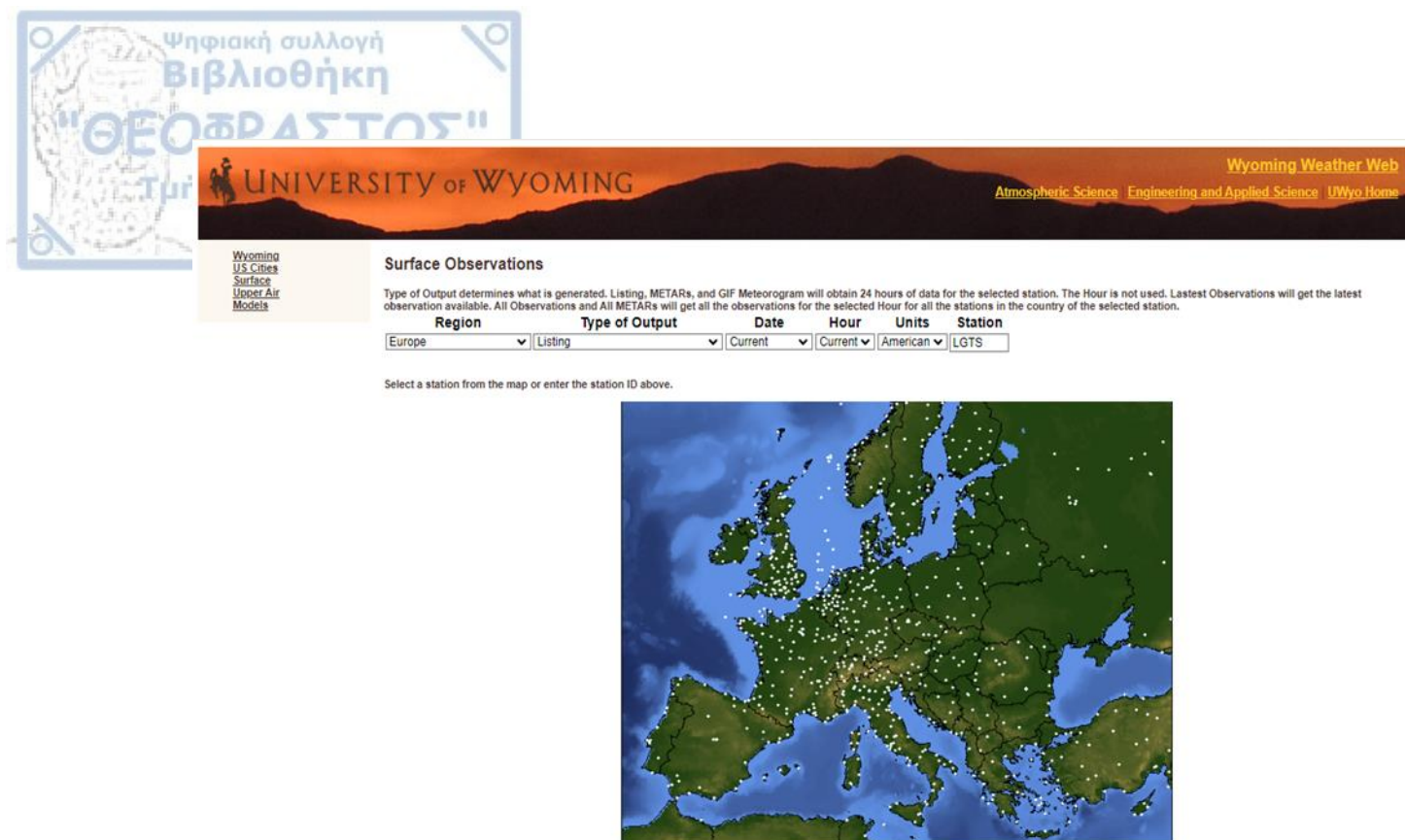
Ένας τρόπος αντιμετώπισης των σφαλμάτων που προκαλούνται από την εξασθένιση του σήματος είναι η χρησιμοποίηση ραντάρ με μήκος κύματος 10 εκατοστών ή μεγαλύτερων κάτι το οποίο δεν εφαρμόζεται σε σφάλματα που οφείλονται στο ανάγλυφο του εδάφους.

2.10 Ραδιοβόλιση

Η ραδιοβόλιση είναι ένα επιπλέον εργαλείο στα χέρια του προγνώστη μετεωρολόγου ώστε να έχει όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία για τις συνθήκες της ατμόσφαιρας που επικρατούν σε μια περιοχή. Η μέθοδος της ραδιοβόλισης είναι χρήσιμη για την πρόγνωση του καιρού. Οι ραδιοβολίδες αποτελούν ουσιώδη πηγή των μετεωρολογικών δεδομένων εδώ και δεκαετίες. Η ραδιοβόλιση παρέχει στοιχεία καθ' ύψος στην ατμόσφαιρα βοηθώντας την τρισδιάστατη αναπαράστασή της.

Η ραδιοβόλιση εφευρέθηκε από τον βρετανό μετεωρολόγο Νάπιερ Σο το 1915, και χρησιμοποιήθηκε ευρέως σε Μεγάλη Βρετανία και Καναδά. Εδώ και δεκαετίες, η ραδιοβόλιση ήταν ο μοναδικός τρόπος κατακόρυφης καταγραφής της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της έντασης αλλά και της διεύθυνσης του ανέμου στην ατμόσφαιρα. Πλέον, εκτός από τις ραδιοβολίδες λειτουργούν και οι δορυφόροι, ωστόσο, οι ραδιοβολίσες παραμένουν οι πιο αξιόπιστες πηγές καταγραφής.

Το πανεπιστήμιο του Γουαϊόμινγκ (Wyoming) στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής προσφέρει ελεύθερα καθημερινά στο διαδίκτυο τη προγνωστική ραδιοβόλιση σε συνεργασία με το παγκόσμιο αμερικανικό μοντέλο καιρού "Global Forecast System - Gfs".



Εικόνα 15 : Η ιστοσελίδα του πανεπιστημίου του Γουαϊόμινγκ στην οποία υπάρχουν δεδομένα ραδιοβολίσεων για ολόκληρο τον κόσμο

Στην επόμενη εικόνα απεικονίζονται τα δεδομένα που κατέγραψε μια ραδιοβόλιση από το αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης για την ημερομηνία 15/10/2024.

16622 LGTS Thessaloniki (Airport) Observations at 00Z 15 Oct 2024

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1019.0	4	14.4	9.4	72	7.31	100	7	286.0	306.6	287.3
1018.0	12	13.6	9.5	76	7.37	106	7	285.3	306.0	286.6
1013.0	55	19.2	9.2	52	7.26	136	6	291.3	312.2	292.6
1010.0	81	19.4	9.4	52	7.38	154	5	291.7	313.0	293.0
1001.0	159	19.0	13.0	68	9.48	209	3	292.1	319.2	293.7
1000.0	168	19.0	13.0	68	9.49	215	3	292.1	319.4	293.8
988.0	271	19.4	10.4	56	8.07	244	2	293.6	317.0	295.0
955.0	561	18.1	8.1	52	7.12	325	1	295.1	316.0	296.4
927.0	815	17.0	6.0	48	6.36	325	7	296.5	315.4	297.6
925.0	833	17.0	6.0	48	6.38	325	7	296.7	315.6	297.8
850.0	1547	11.4	3.4	58	5.78	335	7	298.1	315.4	299.1
829.0	1756	9.8	2.8	62	5.68	342	7	298.5	315.6	299.6
820.0	1846	9.8	0.8	53	4.97	345	7	299.5	314.6	300.4
809.0	1959	10.8	-7.2	28	2.77	349	7	301.7	310.4	302.2
774.0	2326	9.6	-13.4	18	1.77	2	7	304.2	310.0	304.6
705.0	3098	8.2	-21.8	10	0.95	28	6	310.9	314.2	311.1
700.0	3157	7.8	-18.2	14	1.31	30	6	311.1	315.6	311.3
669.0	3521	4.7	-18.4	17	1.34	340	8	311.7	316.3	312.0
600.0	4397	-2.6	-19.0	27	1.43	325	19	313.0	317.9	313.3
587.0	4574	-4.1	-19.1	30	1.45	320	20	313.3	318.2	313.6
573.0	4763	-5.1	-33.1	9	0.41	315	21	314.3	315.8	314.4
553.0	5041	-6.9	-19.9	35	1.43	306	22	315.4	320.3	315.6
542.0	5197	-7.5	-24.5	24	0.98	302	23	316.4	319.9	316.6
530.0	5371	-8.7	-15.7	57	2.14	297	24	317.1	324.3	317.5
526.0	5429	-9.0	-16.5	54	2.00	295	24	317.4	324.2	317.7
515.0	5593	-9.9	-18.9	48	1.68	303	27	318.2	324.0	318.5
500.0	5820	-10.5	-19.5	48	1.64	315	32	320.2	325.9	320.5
494.0	5912	-11.0	-20.8	44	1.48	315	33	320.7	325.9	321.0
458.0	6492	-14.1	-29.1	27	0.76	301	34	323.8	326.6	323.9
444.0	6726	-15.4	-30.7	26	0.67	295	35	325.1	327.6	325.2
417.0	7200	-17.9	-33.9	23	0.52	306	41	327.7	329.7	327.8
406.0	7399	-19.4	-35.4	23	0.46	310	44	328.2	330.0	328.3
400.0	7510	-20.3	-36.3	23	0.43	310	43	328.5	330.2	328.6
327.0	8968	-32.1	-51.1	13	0.11	295	39	331.8	332.2	331.8
326.0	8990	-32.3	-51.1	14	0.11	295	39	331.8	332.2	331.8
300.0	9570	-37.7	-51.7	22	0.11	295	44	332.1	332.6	332.1
258.0	10583	-46.5	-54.5	40	0.09	303	47	333.8	334.2	333.8
250.0	10790	-48.5	-57.5	34	0.06	305	48	333.8	334.1	333.8
247.0	10867	-49.1	-58.0	35	0.06	305	49	334.0	334.3	334.0
209.0	11939	-58.0	-64.6	43	0.03	295	44	336.5	336.6	336.5
201.0	12189	-60.1	-66.1	45	0.03	291	41	336.9	337.1	337.0
200.0	12220	-59.9	-66.9	40	0.02	290	41	337.8	337.9	337.8
184.0	12731	-64.0	-69.9	45	0.02	270	38	339.2	339.3	339.2
173.0	13109	-67.1	-72.1	49	0.01	275	46	340.1	340.2	340.2
171.0	13180	-66.1	-72.8	39	0.01	280	52	342.9	343.0	342.9
167.0	13323	-64.1	-74.1	24	0.01	276	45	348.6	348.6	348.6
162.0	13509	-64.0	-75.7	19	0.01	270	36	351.7	351.8	351.7
158.0	13662	-64.0	-77.1	15	0.01	265	36	354.3	354.4	354.3
150.0	13980	-63.9	-79.9	10	0.00	285	38	359.8	359.8	359.8

Εικόνα 16: Δεδομένα από ραδιοβόλιση για την ημερομηνία 15/10/2024 για την περιοχή της Θεσσαλονίκης

Όλα τα στοιχεία που καταγράφει μια ραδιοβόλιση αποτυπώνονται στην παραπάνω εικόνα, ενώ τα πιο σημαντικά στοιχεία τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία αναλύονται στο Κεφάλαιο 3.1.2 Δεδομένα Ραδιοβόλισης στη σελίδα 34.

Πιο συγκεκριμένα για να πραγματοποιηθεί μια ραδιοβόλιση χρειάζεται ένα μεγάλο μπαλόνι και μια μικρών διαστάσεων ηλεκτρονική συσκευή, που ονομάζεται ραδιοβολίδα η οποία είναι ενωμένη με ένα σχοινί στο μπαλόνι και εκπέμπει τα στοιχεία που έχουν ήδη προαναφερθεί.

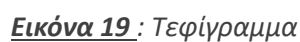
Το μπαλόνι αυτό, το οποίο ζυγίζει περίπου 350 γραμμάρια, χρειάζεται μια προεργασία. Αυτή η προεργασία είναι το γέμισμα του μπαλονιού είτε με ήλιο είτε με υδρογόνο περίπου στα 1,5 κυβικά. Το μπαλόνι της ραδιοβόλισης ανυψώνεται 5 μέτρα ανά δευτερόλεπτο στην ατμόσφαιρα. Για να πραγματοποιηθεί η μέτρηση των στοιχείων της ατμόσφαιρας, αφήνουμε το μπαλόνι με την ραδιοβολίδα στον αέρα και από έναν υπολογιστή μπορούμε και βλέπουμε την πορεία του μπαλονιού και τα στοιχεία της ατμόσφαιρας.



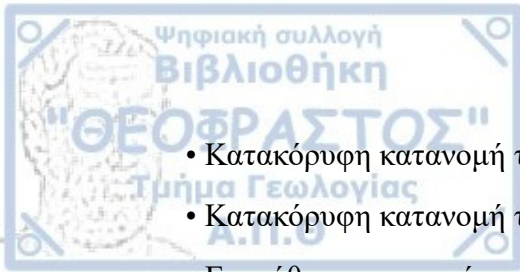
Εικόνα 17 : Το μπαλόνι της ραδιοβόλισης μαζί με την ραδιοβολίδα



Εικόνα 18 : Η συσκευή της ραδιοβολίδας



Όπως παρατηρούμε στην παραπάνω φωτογραφία με γκρι χρώμα απεικονίζεται το αέριο δείγμα. Η δεξιά μαύρη γραμμή δείχνει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα και η αριστερή μαύρη γραμμή το σημείο δρόσου. Οι οριζόντιες μπλε γραμμές είναι οι ισοβαρείς, είναι οι καμπύλες που προκύπτουν όταν ενώσουμε, πάνω σε ένα τεφίγραμμα όλα τα σημεία που έχουν την ίδια ατμοσφαιρική πίεση. ενώ με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι ισημερινικές καμπύλες. Αυτές είναι οι καμπύλες που προκύπτουν όταν ενώσουμε πάνω σε ένα τεφίγραμμα όλα τα σημεία που έχουν την ίδια θερμοκρασία. Τα τεφίγράμματα είναι πολύ σημαντικά εργαλεία για έναν μετεωρολόγο γιατί δίνουν πολλές πληροφορίες όπως :



- Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας
- Κατακόρυφη κατανομή της υγρασίας
- Ευστάθεια της τροπόσφαιρας (π.χ. αναστροφές)
- Βάση νεφών
- Ύψος της τροπόπαυσης
- Διαθέσιμη Δυναμική Ενέργεια για καταιγίδες
- Ψυχρή/θερμή μεταφορά

Στην χώρα μας ραδιοβολίσσεις πραγματοποιούνται καθημερινά στις ώρες 00 και 12 UTC (Universal Time Co-ordinates= τοπική ώρα + 3 ώρες κατά τη θερινή ώρα και +2 ώρες κατά τη χειμερινή ώρα) από τους 3 σταθμούς, δηλαδή τον Μετεωρολογικό Σταθμό Ελληνικού, τον Μετεωρολογικό σταθμό Θεσσαλονίκης που βρίσκεται στο Αεροδρόμιο Μακεδονία και τέλος τον Μετεωρολογικό Σταθμό Ηρακλείου.

Κάποια χαρακτηριστικά που θα μπορούσαμε να αναφέρουμε για τη ραδιοβόλιση είναι ότι πρόκειται για μια ακριβή διαδικασία, αφού ο εξοπλισμός κοστίζει περίπου 300 ευρώ. Το μπαλόνι στη χώρα μας φτάνει τα 10.000 μέτρα σε μία ώρα. Το μέγιστο ύψος στο οποίο φθάνει το μπαλόνι εξαρτάται από το μέγεθός του ενώ πολλές φορές έχει φτάσει μέχρι τα 25000 μέτρα. Το μπαλόνι θα εκραγεί σε κάποιο ύψος λόγω της πολύ μικρής ατμοσφαιρικής πίεσης που επικρατεί. Την πορεία του μετεωρολογικού μπαλονιού καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό οι καιρικές συνθήκες που υπάρχουν στην περιοχή με την κατεύθυνση του αέρα να έχει σημαντικό ρόλο στην πορεία του μπαλονιού αφού πολλές φορές έχουν βρεθεί ραδιοβολίδες πολύ μακριά από την τοποθεσία που ανυψώθηκαν (Μπρίκας Δημήτριος, Από πρακτική στην EMY).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σε αυτό το κομμάτι της πτυχιακής εργασίας θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα δεδομένα από το ραντάρ και τις ραδιοβολίσσεις, θα αναλυθεί η ραδιοβόλιση και τα χαρακτηριστικά της, ενώ ακόμα θα δούμε κάποια συμπεράσματα από τα διαγράμματα που προέκυψαν από τον συνδυασμό των δεδομένων από το ραντάρ και τις ραδιοβολίσσεις.

3.1 Δεδομένα

Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας χρησιμοποιήθηκαν 2 ανεξάρτητες βάσεις δεδομένων για την περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας. Το διάστημα της μελέτης είναι οι μήνες Απρίλιος – Σεπτέμβριος κάθε έτους από το 2011 έως και το 2020 (10 έτη).

Η πρώτη από τις πηγές δεδομένων είναι τα δεδομένα του μετεωρολογικού ραντάρ που βρίσκεται εγκατεστημένο στο Φύλιρο (έξω από τη Θεσσαλονίκη) ενώ τη δεύτερη αποτελούν τα στοιχεία των ραδιοβολίσεων που πραγματοποιούνται στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης.

3.1.1 Δεδομένα ραντάρ

Τα δεδομένα από το ραντάρ προέρχονται από το Μετεωρολογικό Κέντρο του ΕΛ.Γ.Α. (Οργανισμός Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων) που βρίσκεται στο αεροδρόμιο Μακεδονίας στην περιοχή της Θεσσαλονίκης και εκτελεί το αντιχαλαζικό Πρόγραμμα του ΕΛ.Γ.Α. Η μορφή των δεδομένων του μετεωρολογικού ραντάρ εμφανίζεται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 1 : Δείγμα δεδομένων από το μετεωρολογικό ραντάρ

YEAR	MONTH	DAY	Number of cells (count)	Average of Duration (hours)	Average of Nscans	Mean volume (km ³)	Average of Mean mass (ktons)	Mean envelope area(km ²)	Average of Mean top (km msl)	Average of Max top (km msl)	Average of Mean dBZ	Average of Max dBZ	Average of Mean speed (km/hr)
2011	3	31	2	0,8	13,5	33,5	9,1	39,8	2,5	2,9	33,8	44,3	6,4
2011	4	1	16	0,5	9,1	34,1	8,1	33,7	3,0	3,2	32,8	40,0	10,9
2011	4	2	7	0,5	8,6	34,5	8,9	26,9	3,4	3,8	33,2	41,8	17,9
2011	4	3	3	0,3	5,7	45,6	13,4	15,9	5,5	5,9	34,1	41,5	8,3
2011	4	6	6	0,6	10,2	33,2	7,8	29,5	2,9	3,4	32,7	40,1	11,1
2011	4	13	18	0,4	6,7	44,1	9,8	34,2	3,6	4,1	32,2	38,1	29,2
2011	4	14	4	0,4	6,3	44,0	10,3	29,6	4,2	4,8	32,1	38,4	43,0
2011	4	16	3	0,5	8,3	29,1	7,3	29,6	2,6	2,6	33,2	41,7	10,1
2011	4	17	18	0,5	8,6	42,4	9,3	48,2	2,3	2,8	32,2	38,6	14,7
2011	4	18	13	0,5	7,7	33,9	8,6	38,8	2,2	2,5	32,7	39,4	11,9
2011	4	19	25	0,4	7,4	34,3	10,4	23,9	3,5	3,9	34,4	43,8	18,6
2011	4	20	7	0,6	9,1	41,5	11,4	31,7	3,6	4,1	33,9	42,5	18,5
2011	4	23	5	0,5	9,0	41,7	12,8	20,9	4,8	5,6	34,2	43,8	9,7
2011	4	24	5	0,6	10,4	42,0	13,3	22,4	5,1	6,0	34,8	44,8	7,5
2011	4	25	5	0,5	8,0	45,2	14,3	22,2	5,2	5,9	34,5	43,8	3,5
2011	4	26	75	0,5	9,1	37,6	9,1	25,4	4,6	5,2	32,5	39,4	20,4
2011	4	27	15	0,5	7,6	32,4	7,5	30,8	2,8	3,2	32,5	39,3	18,2
2011	4	28	9	0,4	6,9	22,5	7,2	19,9	3,1	3,3	35,0	43,7	4,8
2011	4	29	78	0,5	8,6	37,6	13,6	21,0	4,4	5,1	35,2	45,4	7,4
2011	4	30	27	0,5	9,0	41,8	15,1	26,3	3,8	4,2	34,9	45,0	8,7
2011	5	1	59	0,6	9,8	39,1	10,3	24,8	4,3	4,8	33,2	41,0	23,3
2011	5	2	4	0,5	9,0	31,7	9,7	16,6	4,2	5,1	34,8	44,5	16,1
2011	5	3	88	0,5	7,9	43,7	13,5	29,6	4,0	4,6	34,2	43,8	28,4
2011	5	4	197	0,5	8,1	58,0	20,7	32,2	4,5	5,2	35,1	45,4	10,4
2011	5	5	42	0,6	9,9	34,7	8,0	32,5	3,0	3,2	32,6	39,7	7,9
2011	5	7	1	0,5	7,0	68,9	18,8	29,6	5,6	6,6	33,8	42,0	40,1

Τα χαρακτηριστικά των κυττάρων καταιγίδας που έχουν εξαχθεί από το μετεωρολογικό ραντάρ αναλύονται και εξηγούνται ακολούθως:

- **Number of cells (count)**: ο συνολικός αριθμός κυττάρων που αναπτύχθηκαν σε μια ημερολογιακή ημέρα και τα οποία κατάφερε να εντοπίσει το μετεωρολογικό ραντάρ. Για να αναγνωριστεί ένα κύτταρο ως έγκυρο θα πρέπει η ανακλαστικότητα να περνά κάποιο όριο τιμών, το οποίο ορίζεται συνήθως στα 30-40 dBz (Δημήτριος Μπαμπζέλης, 2013).
- **Average of Duration (hours)**: ο μέσος όρος της διάρκειας σε ώρες. Πιο συγκεκριμένα, είναι ο χρόνος διάρκειας ζωής του κάθε κυττάρου και ανήκει στα χρονικά χαρακτηριστικά του. Πρόκειται για την χρονική διάρκεια από την πρώτη ανίχνευση του κυττάρου μέχρι και την διάλυση του, δηλαδή μέχρι η τιμή της ανακλαστικότητας πέσει κάτω από το προβλεπόμενο όριο (Δημήτριος Μπαμπζέλης, 2013).
- **Average of Nscans**: ο μέσος όρος των συνεχόμενων σαρώσεων που πραγματοποιεί ένα μετεωρολογικό ραντάρ εφόσον ανιχνεύονται κύτταρα μέσα στη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου.
- **Average of Mean volume (km³)**: ο μέσος όγκος των κυττάρων καταιγίδας της συγκεκριμένης ημέρας. Μετριέται σε km³, οι οποίες είναι μονάδες μέτρησης για τον όγκο. Για να προκύψει ο αριθμός, προσθέτουμε τον αριθμό των συνεχόμενων περιοχών όπου η ανακλαστικότητα είναι μεγαλύτερη από το προβλεπόμενο όριο και ύστερα βγάζουμε τον μέσο όρο (Δημήτριος Μπαμπζέλης, 2013).
- **Average of Mean mass (ktons)**: η μέση μάζα των κυττάρων καταιγίδας κατ'αντιστοιχία με τον όγκο. Μετριέται σε ktons. Πιο συγκεκριμένα, για να προκύψει η τιμή της μάζας του κυττάρου χρησιμοποιούμε τη σχέση μάζας – ανακλαστικότητας (M– Z):

$Z=a*M^b$, όπου οι τιμές των σταθερών a και b του τύπου προκύπτουν από πειραματικά δεδομένα ανάλογα με την περιοχή μελέτης.

Επίσης, η μάζα του κυττάρου προκύπτει και από τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Mass} = \int M d(\text{Vol})$$

Αναλυτικότερα, η μάζα του κυττάρου αποτελεί το ολοκλήρωμα της μάζας του νερού που υπάρχει στη μονάδα του όγκου, για τις περιοχές που η ανακλαστικότητα ξεπερνάει τα όρια που είχαν προαναφερθεί παραπάνω. Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι το νερό βρίσκεται τόσο σε υγρή όσο και σε στερεή κατάσταση (Δημήτριος Μπαμπζέλης, 2013).

- **Average of Mean envelope area (km²):** η μέση επιφάνεια του κυττάρου. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για την προβολή της τρισδιάστατης περιοχής του κυττάρου πάνω στην επιφάνεια του εδάφους (Δημήτριος Μπαμπζέλης, 2013).
- **Average of Mean top:** το μέσο ύψος των κυττάρων.
- **Average of Max top:** το μέγιστο ύψος των κυττάρων. Αποτελεί δηλαδή το μέγιστο ύψος στο οποίο φτάνει το νέφος, το οποίο σε αυτή την περίπτωση ορίζουμε ως κύτταρο, μέσα στην ατμόσφαιρα σε σχέση με τιμή της ανακλαστικότητας (Δημήτριος Μπαμπζέλης, 2013). Δηλαδή το μέγιστο ύψος στο οποίο η ανακλαστικότητα φτάνει την προκαθορισμένη τιμή και όχι η κορυφή του νέφους που σαφώς βρίσκεται ψηλότερα.
- **Average of Mean dBz:** η μέση ανακλαστικότητα του κυττάρου.
- **Average of Max dBz:** η μέγιστη ανακλαστικότητα του κυττάρου, ανεξάρτητα του ύψους ή της χρονικής στιγμής που αποτυπώνεται στην παρατήρηση. Η μέγιστη τιμή της αποτελεί μέτρο έντασης του κυττάρου (Δημήτριος Μπαμπζέλης, 2013).
- **Average of Mean speed (km/hour):** η μέση ταχύτητα ενός κυττάρου. Για να βρεθεί όμως η μέση ταχύτητα κίνησης του κυττάρου πρέπει να μετρηθεί η οριζόντια απόσταση που έχει διανύσει μεταξύ δυο διαδοχικών ανιχνεύσεων από το μετεωρολογικό ραντάρ (Δημήτριος Μπαμπζέλης, 2013).

Συμπερασματικά όλα τα παραπάνω αποτελούν διάφορα χαρακτηριστικά του κυττάρου που εξάγονται από το μετεωρολογικό ραντάρ. Ειδικότερα, τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε χρονικά, κινηματικά και δυναμικά. Ο μέσος όρος της διάρκειας αποτελεί χρονικό χαρακτηριστικό, η μέση ταχύτητα του κυττάρου αποτελεί κινηματικό χαρακτηριστικό, η μέση και μέγιστη ανακλαστικότητα αποτελούν δυναμικά χαρακτηριστικά. Τέλος, ο μέσος όγκος και η μέση μάζα των κυττάρων καταιγίδας, η μέση επιφάνεια του κυττάρου αλλά και το μέσο και μέγιστο ύψος των κυττάρων αποτελούν χωρικά χαρακτηριστικά.

3.1.2 Δεδομένα ραδιοβόλισης

Τα δεδομένα της ραδιοβόλισης, όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή του τρίτου κεφαλαίου, προέρχονται από την περιοχή της Θεσσαλονίκης και πιο συγκεκριμένα από το Αεροδρόμιο Μακεδονία. Για τη συγκεκριμένη εργασία έχουν επιλεγεί οι δείκτες αστάθειας όπως αναφέρονται παραπάνω.

Πίνακας 2 : Τα δεδομένα από την ραδιοβόλιση

	Station identifier	Station number	Observation time	Station latitude	Station longitude	Station elevation	Showalter index	Lifted index	LIFT computed using	SWEAT index	K index	Cross totals index	Vertical totals index	Totals totals index
DATE														
1/4/2011	LGTS	16622	110401/00	40,51	22,96	4	4,44	3,4	3,41	73,58	25,7	23	25,1	48,1
2/4/2011	LGTS	16622	110402/00	40,51	22,96	4	4,69	3,82	3,76	46,99	25	21,3	26,3	47,6
3/4/2011	LGTS	16622	110403/00	40,51	22,96	4	5,34	4,47	4,36	31	12,7	19,3	27,3	46,6
4/4/2011	LGTS	16622	110404/00	40,51	22,96	4	6,06	6,65	6,65	25,21	15,1	22,5	23,5	46
5/4/2011	LGTS	16622	110405/00	40,51	22,96	4	9,16	9,61	9,49	60,99	11,3	12,7	24,7	37,4
6/4/2011	LGTS	16622	110406/00	40,51	22,96	4	4,74	7,34	7,38	37,8	23,1	20,9	25,9	46,8
7/4/2011	LGTS	16622	110407/00	40,51	22,96	4	6,06	5,3	5,26	65,79	23,5	22,6	23,3	45,9
8/4/2011	LGTS	16622	110408/00	40,51	22,96	4	4,22	8,16	8,23	87,59	19,3	19,5	26,5	46
9/4/2011	LGTS	16622	110409/00	40,51	22,96	4	7,16	9,89	9,86	100,59	17,3	15,5	24,5	40
10/4/2011	LGTS	16622	110410/00	40,51	22,96	4	10,4	8,17	8,1	125,2	-13,1	2,7	27,7	30,4
11/4/2011	LGTS	16622	110411/00	40,51	22,96	4	9,46	10,33	10,28	112	6,9	12,5	25,5	38
12/4/2011	LGTS	16622	110412/00	40,51	22,96	4	13,35	11,14	11,11	86,01	-22,3	8,9	21,9	30,8
13/4/2011	LGTS	16622	110413/00	40,51	22,96	4	2,94	5,63	5,57	30,98	21,1	19,1	30,1	49,2
14/4/2011	LGTS	16622	110414/00	40,51	22,96	4	0,61	7,93	7,95	202,6	30,8	25,4	28,9	54,3
15/4/2011	LGTS	16622	110415/00	40,51	22,96	4	11,57	12,31	12,31	83,99	8,7	13,9	21,9	35,8
16/4/2011	LGTS	16622	110416/00	40,51	22,96	4	8,47	8,18	8,19	32,01	14,2	16,1	25,1	41,2
17/4/2011	LGTS	16622	110417/00	40,51	22,96	4	6,82	6,37	6,37	50,59	22,7	22,4	22,7	45,1
18/4/2011	LGTS	16622	110418/00	40,51	22,96	4	9,84	8,49	8,57	35	18,5	20	20,4	40,4
19/4/2011	LGTS	16622												
20/4/2011	LGTS	16622	110420/00	40,51	22,96	4	2,67	2,46	2,39	122,02	24,8	24,5	28,3	52,8
21/4/2011	LGTS	16622	110421/00	40,51	22,96	4	4,6	7,63	7,53	42,6	-9,4	21,8	25,3	47,1
22/4/2011	LGTS	16622	110422/00	40,51	22,96	4	5,27	12,32	12,26	34,98	1	21,2	24,5	45,7
23/4/2011	LGTS	16622	110423/00	40,51	22,96	4	9,58	9,34	9,24	23,99	9,5	10,1	26,1	36,2
24/4/2011	LGTS	16622	110424/00	40,51	22,96	4							23,5	
25/4/2011	LGTS	16622	110425/00	40,51	22,96	4	5,65	10,75	10,8	62,2	23,2	20,3	23,7	44
26/4/2011	LGTS	16622	110426/00	40,51	22,96	4	7,89	10,5	10,48	30,39	6	18,6	22,3	40,9
27/4/2011	LGTS	16622	110427/00	40,51	22,96	4	7,67	8,32	8,4	66,21	21,7	20	21,9	41,9
28/4/2011	LGTS	16622	110428/00	40,51	22,96	4	5,86	6,54	6,42	46,6	21,8	21,6	23,1	44,7
29/4/2011	LGTS	16622	110429/00	40,51	22,96	4	2,86	5,7	5,73	70,99	29,1	24,6	24,7	49,3

Στον Πίνακα 2 εμφανίζεται η μορφή του αρχείου της ραδιοβόλισης. Εκτός από τα γενικά στοιχεία τα οποία έχουν να κάνουν με την ημερομηνία, την τοπογραφία και τη γεωγραφική θέση του σταθμού, στη συνέχεια εμφανίζονται οι δείκτες αστάθειας που έχουν επιλεγεί.

Οι δείκτες αυτοί απεικονίζουν τη θερμοδυναμική κατάσταση στην οποία βρίσκεται η ατμόσφαιρα πάνω από τη συγκεκριμένη περιοχή και κατά πόσο είναι πιθανό να εκδηλωθούν καταιγίδες. Επιπλέον εκτιμούν το δυναμικό που μπορεί να έχει μια καταιγίδα. (John A. Ackerman, Steven A.; Knox, 2013).

Στη συνέχεια, αναφέρονται όλοι οι δείκτες αστάθειας (Johnson, 1982) που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία και τι εξετάζει ο καθένας ξεχωριστά:

- **Showalter index (Showalter, 1953):** είναι το μέτρο αστάθειας της ατμόσφαιρας. Για να υπολογιστεί η τιμή αυτού του δείκτη χρησιμοποιούμε την τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και του σημείου δρόσου στα 850 hPa και την τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στα 500 hPa. Ο τύπος για να βγει η τιμή του Showalter index είναι:

$$SSI = T_{850} - T_{500}, \text{ όπου}$$

T_{850} = Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου στα 850 mb

T_{500} = Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου στα 500 mb

Γενικά ο δείκτης αυτός μας δείχνει και την αστάθεια της ατμόσφαιρας. Όσο μεγαλύτερες είναι οι αρνητικές τιμές, τόσο μεγαλύτερη είναι και η αστάθεια και άρα η πιθανότητα σε καταιγίδες. Πιο συγκεκριμένα, αν οι τιμές είναι μεγαλύτερες του 3 τότε είναι απίθανο να υπάρξουν καταιγίδες, αν οι τιμές είναι από 0 έως 3 τότε είναι πιθανό να υπάρξουν καταιγίδες. Για τιμές από -3 έως και 0 τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ισχυρών καταιγίδων, ενώ τέλος για τιμές μικρότερες του -3 υπάρχει εξαιρετική αστάθεια.

- **Lifted index (Galway, 1956):** Ο δείκτης αυτός μας βοηθάει να βρούμε την πιθανότητα ύπαρξης ισχυρών καταιγίδων. Η τιμή που παίρνουμε από τον δείκτη αυτόν, προκύπτει από τον υπολογισμό της θερμοκρασίας που θα είχε ο αέρας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους εάν ανυψωνόταν ξηρά και αδιαβατικά σε ένα μέσο υψόμετρο (συνήθως στα 500 hPa) και της πραγματικής θερμοκρασίας που έχει σε εκείνο το υψόμετρο. Ο τύπος για να βγει η τιμή του Lifted index είναι:

$$LIFT = T_{500} - T_{parcel}, \text{ όπου}$$

T_{500} = Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε βαθμούς Κελσίου στα 500 mb

T_{parcel} = Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου στα 500 mb ενός ανυψωμένου αντικειμένου με μέση πίεση, θερμοκρασία και σημείο δρόσου του στρώματος 500 m πάνω από την επιφάνεια.

Οι αρνητικές τιμές του δείκτη υποδεικνύουν αστάθεια, ενώ όσο πιο αρνητικές είναι οι τιμές τόσο πιο ασταθής είναι ο αέρας αλλά και πιο δυνατά είναι τα ανοδικά ρεύματα με επακόλουθες καταιγίδες. Συμπερασματικά, τιμές μικρότερες του -6 συνήθως μας δείχνουν ότι είναι πιθανόν να προκύψουν σοβαρές καταιγίδες.

- **LIFT computed using virtual temperature:** πρόκειται για τον ίδιο δείκτη αστάθειας της ατμόσφαιρας που μόλις αναλύθηκε ο οποίος όμως υπολογίζεται με τη χρήση της εικονικής θερμοκρασίας, δηλαδή της θερμοκρασίας που θα είχε ο ξηρός αέρας εάν η πίεση και η πυκνότητά του ήταν ίσες με αυτές ενός δεδομένου δείγματος υγρού αέρα.

- **SWEAT index (Bidner, 1970):** ο δείκτης αυτός αξιολογεί την πιθανότητα εμφάνισης έντονων καιρικών φαινομένων συνδυάζοντας μαζί πολλές παραμέτρους. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιεί την υγρασία στο σημείο δρόσου (850 mb), τον δείκτη Total totals index που θα αναλυθεί παρακάτω, την ταχύτητα του ανέμου σε δύο σημεία (850 και 500 mb) και τη θερμή οριζόντια μεταφορά του αέρα μεταξύ των δυο προαναφερθέντων σημείων. Ο τύπος για να βγει η τιμή του SWEAT index είναι:

$$\text{SWEAT} = 12 * \text{TD}_{850} + 20 * \text{TERM2} + 2 * \text{SKT}_{850} + \text{SKT}_{500} + \text{SHEAR},$$

όπου

TD_{850} = Το σημείο δρόσου σε βαθμούς Κελσίου στα 850 mb

$\text{TERM2} = \text{MAX} (\text{TOTL} - 49, 0)$

TOTL = Total totals index

SKT_{850} = Η ταχύτητα του ανέμου στα 850 mb σε knots

SKT_{500} = Η ταχύτητα του ανέμου στα 500 mb σε knots

$\text{SHEAR} = 125 * [\text{SIN} (\text{DIR}_{500} - \text{DIR}_{850}) + 0.2]$

DIR_{500} = Η κατεύθυνση του ανέμου στα 500 mb

DIR_{850} = Η κατεύθυνση του ανέμου στα 850 mb

Αν οι τιμές του δείκτη SWEAT είναι πάνω από 300, τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα για ισχυρές καταιγίδες, ενώ αν είναι πάνω από 400, τότε υπάρχει δυνατότητα ύπαρξης ανεμοστρόβιλων.

- **K index (George, 1960):** Αυτός ο δείκτης αστάθειας μας βοηθάει να προβλέψουμε την πιθανότητα ύπαρξης καταιγίδων μάζας αέρα. Ο τύπος από τον οποίο προκύπτει η τιμή του δείκτη K index είναι:

$$\text{K} = (\text{T}_{850} - \text{T}_{500}) + \text{Td}_{850} - (\text{T}_{700} - \text{Td}_{700}), \text{ όπου}$$

T_{850} = Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου στα 850 mb

T_{500} = Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου στα 500 mb

TD_{850} = Σημείο δρόσου σε βαθμούς Κελσίου στα 850 mb

T_{700} = Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου στα 700 mb

TD_{700} = Σημείο δρόσου σε βαθμούς Κελσίου στα 700 mb

Και σε αυτόν τον δείκτη υπάρχουν κάποια όρια για τις εμφανίσεις καταιγίδων. Πιο συγκεκριμένα, αν η τιμή του K είναι μικρότερη από 20 τότε είναι απίθανο να εμφανιστούν καταιγίδες. Από τιμές 20 μέχρι 25 υπάρχουν μεμονωμένες καταιγίδες, ενώ για τιμές από 26 έως 30 εμφανίζονται ευρέως διάσπαρτες καταιγίδες. Ακόμα, για τιμές από 31 έως 35 υπάρχουν πολυάριθμες καταιγίδες, ενώ τέλος για τιμές από 35 και πάνω υπάρχει μεγάλη πιθανότητα καταιγίδας.

- **Cross totals index (Miller, 1967)**: Αυτός ο δείκτης αστάθειας χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ύπαρξης καταιγίδας. Ο τύπος από τον οποίο προκύπτει η τιμή του δείκτη Cross totals index είναι:

$$CTOT = TD_{850} - T_{500}, \text{ όπου}$$

TD_{850} = Σημείο δρόσου σε βαθμούς Κελσίου στα 850 mb

T_{500} = Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου στα 500 mb

Στην περίπτωση αυτού του δείκτη τα όρια των τιμών είναι πολύ μικρά. Πιο συγκεκριμένα, αν η τιμή του δείκτη είναι μικρότερη από 18 τότε έχουμε χαμηλή πιθανότητα για καταιγίδες, από 18 έως 19 υπάρχει μέτρια πιθανότητα για καταιγίδες, από 20 έως 21 υπάρχει ισχυρή πιθανότητα για καταιγίδες. Εν συνεχεία, για τιμές από 22 έως 23 υπάρχει ασθενής πιθανότητα για ισχυρές καταιγίδες, για τιμές από 24 έως 25 υπάρχει μέτρια πιθανότητα για ισχυρές καταιγίδες, ενώ τέλος για τιμές υψηλότερες από 25 τότε υπάρχει ισχυρή πιθανότητα για ισχυρές καταιγίδες.

- **Vertical totals index (Miller, 1967)**: Αυτός ο δείκτης αστάθειας της ατμόσφαιρας μας δίνει την τιμή της κατακόρυφης διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των 850 και 500 mb. Ο τύπος που μας δίνει την τιμή είναι:

$$VTOT = T_{850} - T_{500}, \text{ όπου}$$

T_{850} = Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου στα 850 mb

T_{500} = Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου στα 500 mb

Γενικά, αυτός ο δείκτης δεν έχει συγκεκριμένα όρια, απλά αν η τιμή του είναι μεγαλύτερη από 28 τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα για καταιγίδα.

- **Total totals index (Miller, 1967)**: Ο τελευταίος δείκτης αστάθειας χρησιμοποιείται για την εκτίμηση ύπαρξης καταιγίδας. Ο τύπος που μας δίνει την τιμή του δείκτη είναι:

$$TOTL = (T_{850} - T_{500}) + (TD_{850} - T_{500}), \text{ όπου}$$

T_{850} = Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου στα 850 mb

TD_{850} = Σημείο δρόσου σε βαθμούς Κελσίου στα 850 mb

T_{500} = Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου στα 500 mb

Όπως και στους παραπάνω δείκτες έτσι και σε αυτόν υπάρχουν κάποια όρια στις τιμές για να βγει κάποιο συμπέρασμα. Έτσι, για τιμές από 45 έως 50 είναι υπαρκτή η πιθανότητα καταιγίδας, για τιμές από 50 έως 55 υπάρχει μεγάλη πιθανότητα καταιγίδας, ενώ τέλος για τιμές από 55 έως 60 η πιθανότητα εμφάνισης καταιγίδας είναι πολλή μεγάλη (Eda Cinaroglu, 2019)

3.1.3 Συντελεστής συσχέτισης

Για τη συσχέτιση των δεδομένων από το μετεωρολογικό ραντάρ και των δεικτών αστάθειας χρησιμοποιείται ο συντελεστής συσχέτισης.

Η συσχέτιση δύο ποσοτικών μεταβλητών X και Y προσδιορίζεται αριθμητικά μέσω του συντελεστή συσχέτισης του Pearson (Pearson's correlation coefficient). Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά από τον Auguste Bravais το 1844. Ορίζεται από τη σχέση:

$$r = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

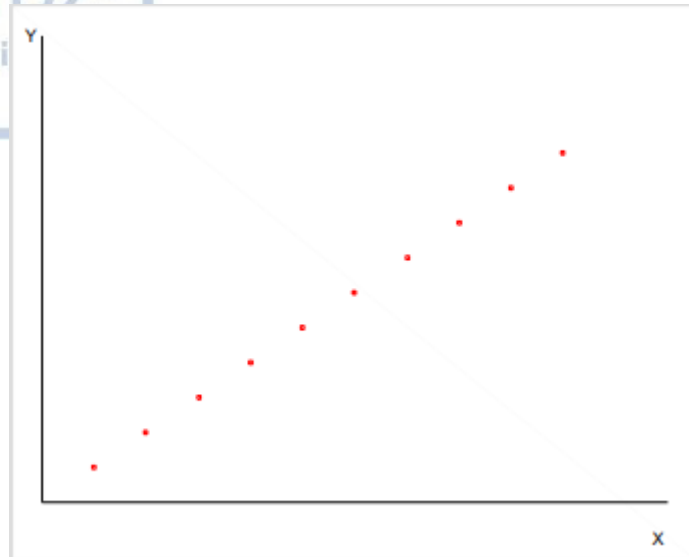
Όπου:

$cov(X, Y)$: συνδιακύμανση, η οποία αποτελεί το μέτρο της κοινής μεταβλητότητας δύο τυχαίων μεταβλητών. Πιο συγκεκριμένα είναι η αναμενόμενη τιμή (ή η μέση) του γινομένου των αποκλίσεων τους από τις επιμέρους αναμενόμενες τιμές τους

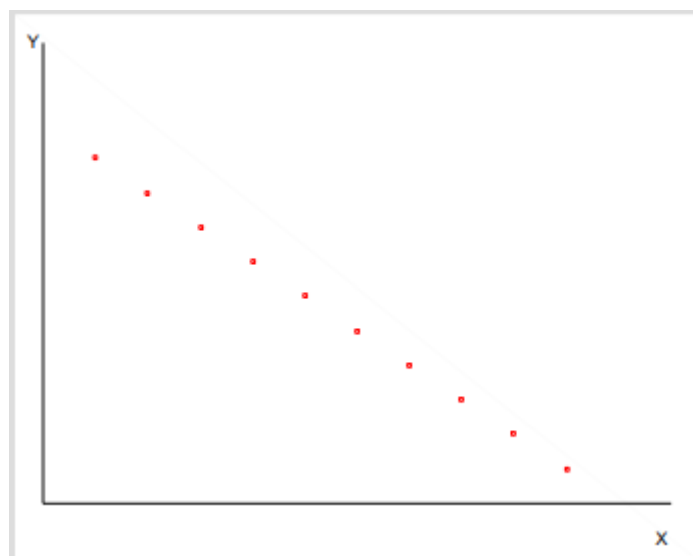
σ_X : τυπική απόκλιση του X

σ_Y : τυπική απόκλιση του Y (Wikipedia)

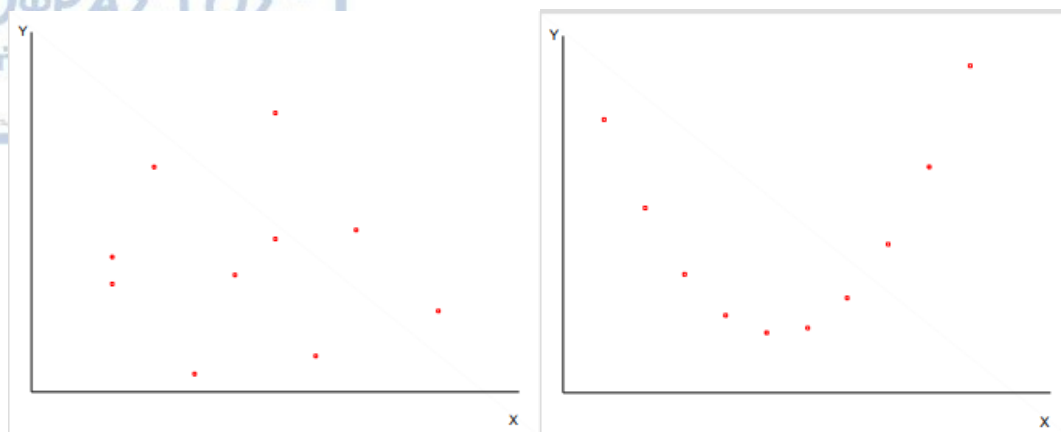
Οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης κυμαίνονται από το -1 έως το +1 και μας δείχνει πόσο καλά σχετίζονται οποιεσδήποτε 2 τιμές. Πρόκειται για ένα στατιστικό μέτρο όπου για μια θετικά συσχετισμένη μεταβλητή, η τιμή του συντελεστή συσχέτισης r αυξάνεται, ενώ για μια αρνητικά συσχετισμένη μεταβλητή, η τιμή του συντελεστή συσχέτισης r μειώνεται. Αν η τιμή του συντελεστή συσχέτισης είναι $r=0$, τότε μεταξύ των δυο μεταβλητών δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση. Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνεται η γραμμική σχέση αλλά και η απουσία της μεταξύ δυο μεταβλητών X και Y (Γναρδέλλης, 2020).



Εικόνα 20: Πλήρης θετική συσχέτιση $r=1$



Εικόνα 21: Πλήρης αρνητική συσχέτιση $r=-1$



Εικόνα 22 & 23 : Απουσία γραμμικής συσχέτισης με $r=0$

Για να υπολογίσουμε τον συντελεστή συσχέτισης στο excel χρησιμοποιούμε την συνάρτηση Correl η οποία γράφεται =Correl(array1;array2). Στις παρακάτω φωτογραφίες βλέπουμε τους συντελεστές συσχέτισης όπου και θα τους αναλύσουμε ακόμα περισσότερο.

Πίνακας 3 : Συντελεστής συσχέτισης για τους μήνες Απρίλιο και Μάιο

april(1ος)	april(2ος)	april(3ος)	April(4ος)	April(5ος)	april(6ος)	april(7ος)	april(8ος)		may(1ος)	may(2ος)	may(3ος)	may(4ος)	may(5ος)	may(6ος)	may(7ος)	may(8ος)
-0,01003	0,000931	-0,00251	-0,04359	0,026458	0,004332	0,004383	0,023217		-0,03829	-0,00402	-0,00799	-0,00602	0,01976	0,005049	0,035441	0,021914
-0,22463	-0,16921	-0,18076	0,17257	0,121439	-0,07438	0,219035	0,061197		-0,22762	-0,16657	-0,17722	0,152837	0,125213	-0,04457	0,222087	0,066521
-0,25682	-0,20479	-0,21971	0,184492	0,160473	-0,05074	0,174052	0,081722		-0,25112	-0,19679	-0,21146	0,171876	0,159053	-0,04043	0,171225	0,081737
0,096406	0,07854	0,078428	0,006734	-0,10468	-0,06593	0,020272	-0,00046		0,082351	0,077659	0,077204	0,01673	-0,1018	-0,07253	0,033157	0,001664
-0,40326	-0,32684	-0,34184	0,225658	0,235636	-0,10075	0,367236	0,087111		-0,4071	-0,32879	-0,34218	0,199133	0,24513	-0,04068	0,367311	0,095643
-0,40698	-0,32614	-0,34148	0,230833	0,240712	-0,08058	0,356774	0,090257		-0,41524	-0,33169	-0,34547	0,209506	0,249876	-0,02049	0,360881	0,099218
-0,16501	-0,16884	-0,18481	0,126742	0,127081	-0,03501	-0,04244	0,022145		-0,08364	-0,10251	-0,11865	0,102134	0,0757	-0,09325	-0,08635	-0,00157
-0,22265	-0,21102	-0,22846	0,170734	0,16955	-0,02853	0,003237	0,038604		-0,15726	-0,15716	-0,17506	0,148214	0,128975	-0,06809	-0,0385	0,020036
0,107857	0,103814	0,107851	0,113016	-0,14011	-0,14679	0,061212	-0,03869		0,094769	0,094435	0,098804	0,092511	-0,12795	-0,12357	0,068365	-0,03174
0,107857	0,103814	0,107851	0,230833	0,240712	0,004332	0,367236	0,090257		0,094769	0,094435	0,098804	0,209506	0,249876	0,005049	0,367311	0,099218

Πίνακας 4 : Συντελεστής συσχέτισης για τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο

June(1ος)	June(2ος)	June(3ος)	June(4ος)	June(5ος)	June(6ος)	June(7ος)	June(8ος)		July(1ος)	July(2ος)	July(3ος)	July(4ος)	July(5ος)	July(6ος)	July(7ος)	July(8ος)
-0,03987	-0,00232	-0,00664	0,004117	0,016331	0,000811	0,03683	0,021992		-0,03288	-0,00082	-0,00526	-0,00048	0,006324	-0,00414	0,031876	0,020373
-0,22523	-0,15843	-0,16902	0,14816	0,127645	-0,04106	0,216569	0,065296		-0,22678	-0,15986	-0,17034	0,148589	0,132545	-0,03802	0,215669	0,065647
-0,24687	-0,1856	-0,20027	0,166611	0,159203	-0,03532	0,163917	0,080141		-0,24661	-0,18725	-0,20204	0,167754	0,159312	-0,0349	0,163901	0,080384
0,081406	0,078585	0,07782	0,01928	-0,10052	-0,08143	0,035747	0,001326		0,080784	0,082988	0,082755	0,011076	-0,09944	-0,07763	0,035141	0,001872
-0,40999	-0,32572	-0,33895	0,19707	0,250507	-0,03263	0,367513	0,096241		-0,41259	-0,33298	-0,34635	0,206387	0,25917	-0,02916	0,365377	0,096204
-0,41893	-0,33015	-0,34381	0,208988	0,255313	-0,01316	0,362066	0,099907		-0,42115	-0,33755	-0,35129	0,216706	0,263455	-0,01021	0,360485	0,099965
-0,08366	-0,09466	-0,11099	0,104057	0,076978	-0,08443	-0,09199	-0,00138		-0,07681	-0,09203	-0,10897	0,103242	0,066768	-0,09209	-0,09305	-0,00279
-0,15833	-0,15004	-0,16816	0,152453	0,130949	-0,05984	-0,04376	0,02031		-0,15181	-0,14992	-0,16865	0,152705	0,122468	-0,06699	-0,04653	0,018885
0,09218	0,088443	0,093105	0,092978	-0,12191	-0,12636	0,07058	-0,03145		0,091174	0,085281	0,090594	0,083886	-0,11498	-0,11963	0,070555	-0,03041
0,09218	0,088443	0,093105	0,208988	0,255313	0,000811	0,367513	0,099907		0,091174	0,085281	0,090594	0,216706	0,263455	-0,00414	0,365377	0,099965

Πίνακας 5 : Συντελεστής συσχέτισης για τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο

August(1os)	aug(2os)	aug(3os)	aug(4os)	aug(5os)	aug(6os)	aug(7os)	aug(8os)	Sep(1os)	sep(2os)	sep(3os)	sep(4os)	sep(5os)	sep(6os)	sep(7os)	sep(8os)
-0,02758165	0,005228	0,001151	-0,00849	-0,00028	-0,00699	0,034345	0,020581	-0,02575	0,003897	-0,00069	-0,00771	-0,016	-0,00874	0,029269	0,018985
-0,22133049	-0,16208	-0,17217	0,139097	0,129722	-0,0405	0,216948	0,066008	-0,22093	-0,16098	-0,171	0,136752	0,130739	-0,03865	0,217957	0,066568
-0,24269194	-0,19087	-0,20533	0,159911	0,15666	-0,03704	0,165324	0,081225	-0,24208	-0,18841	-0,20281	0,158248	0,155707	-0,03606	0,165742	0,081557
0,09254238	0,089675	0,089915	-0,0068	-0,10865	-0,08262	0,036433	0,00199	0,087801	0,086012	0,08617	-0,00519	-0,10565	-0,07816	0,039315	0,003053
-0,41231563	-0,33901	-0,35212	0,205883	0,261948	-0,02959	0,364421	0,095984	-0,40648	-0,3343	-0,34719	0,199213	0,260609	-0,03077	0,36445	0,096255
-0,41967326	-0,34477	-0,3582	0,213671	0,265043	-0,01078	0,359232	0,099926	-0,41448	-0,34078	-0,35403	0,206992	0,263449	-0,01167	0,360369	0,100507
-0,07674425	-0,0938	-0,11076	0,102006	0,065038	-0,09287	-0,09489	-0,0032	-0,07648	-0,08867	-0,10556	0,104614	0,056241	-0,09268	-0,09618	-0,00354
-0,15056389	-0,15259	-0,17122	0,148116	0,120797	-0,06706	-0,0495	0,018695	-0,14802	-0,14627	-0,16491	0,148427	0,112078	-0,06755	-0,05177	0,018465
0,09553031	0,087227	0,093186	0,076832	-0,11579	-0,11676	0,070113	-0,02952	0,09215	0,083843	0,090147	0,077137	-0,1099	-0,11224	0,072863	-0,02842
0,09553031	0,089675	0,093186	0,213671	0,265043	-0,00699	0,364421	0,099926	0,09215	0,086012	0,090147	0,206992	0,263449	-0,00874	0,36445	0,100507

Όπως φαίνεται στους τρεις παραπάνω πίνακες οι τιμές από τους συντελεστές συσχέτισης είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Η τελευταία γραμμή σε κάθε πίνακα αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή κάθε στήλης. Πιο αναλυτικά, στον Πίνακα 7 για το πρώτο δεδομένο του Απριλίου (τιμή = -0,01003) το αποτέλεσμα προήλθε από τον συντελεστή συσχέτισης κάθε Απριλίου από το 2011 μέχρι το 2020 για τις τιμές Showalter index και Average of Nscans. Ακολουθώντας, η επόμενη τιμή για τον April 1^{ος} (τιμή = -0,22463) αποτελεί τον συντελεστή συσχέτισης για τις παραμέτρους Showalter index και Average of Mean volume (km³) για όλες τις τιμές του Απριλίου από το 2011 μέχρι το 2020. Συμπερασματικά για όλες τις τιμές που υπάρχουν στη στήλη του April 1^{ος} αποτελούν τον συντελεστή συσχέτισης για τις τιμές του Showalter index από τα δεδομένα της ραδιοβόλισης με κάθε ένα δεδομένο από το ραντάρ από το Average of Nscans μέχρι το Average of Mean speed, για όλες τις τιμές του Απριλίου από το 2011 έως το 2020.

Ακολουθώντας για τις τιμές στη στήλη April 2^{ος} αυτές αποτελούν τον συντελεστή συσχέτισης για τις τιμές του lifted index από τα δεδομένα της ραδιοβόλισης με κάθε ένα δεδομένο από το ραντάρ για τις τιμές από το Average of Nscans μέχρι το Average of Mean speed, για όλες τις τιμές του Απριλίου από το 2011 μέχρι το 2020.

Συνοπτικά αυτό συμβαίνει και για τις υπόλοιπες τιμές σε όλους τους πίνακες (Πίνακες 4 και 5) για τους επόμενους μήνες, μέχρι και τον Σεπτέμβριο.

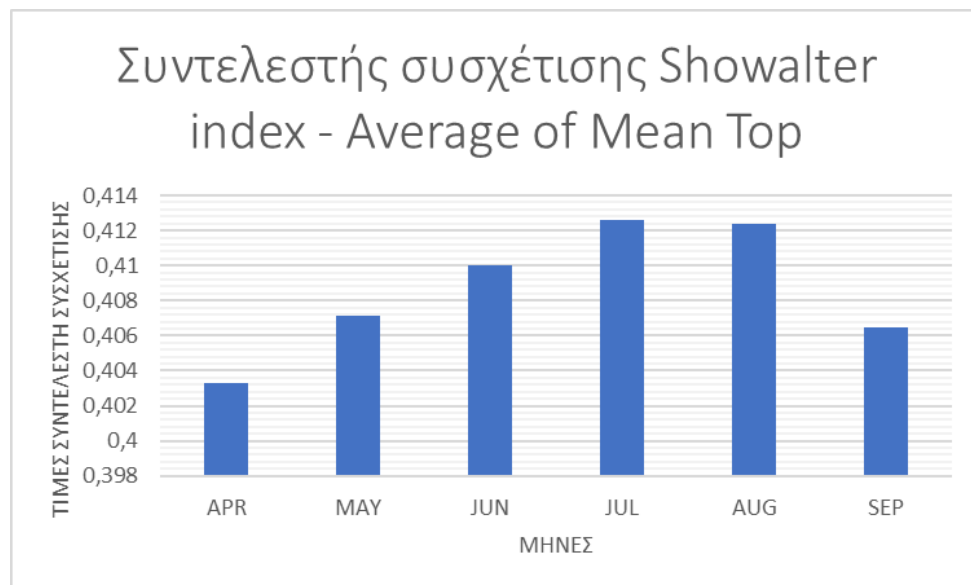
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Διαγράμματα συντελεστή συσχέτισης

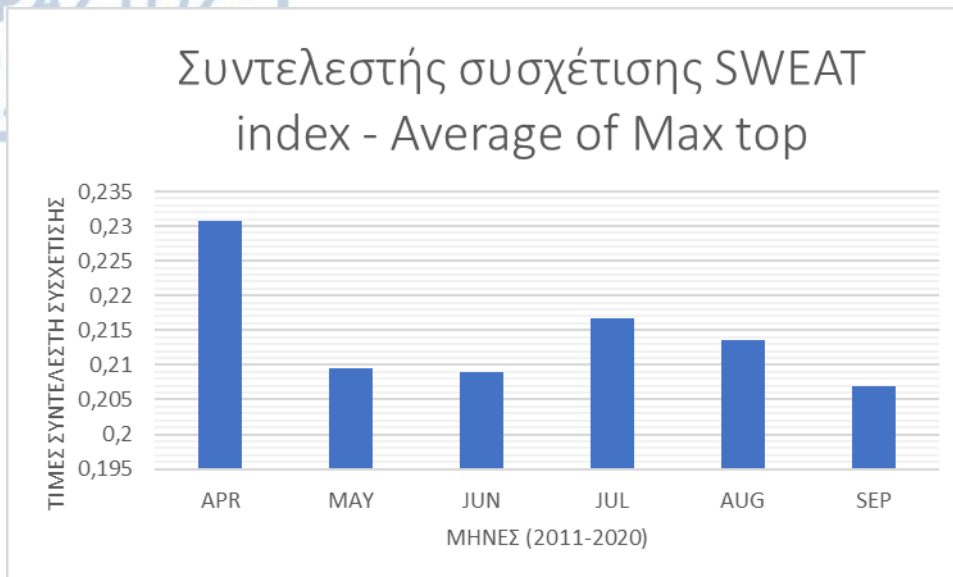
Σε αυτό το κομμάτι της πτυχιακής αποτυπώνονται κάποια διαγράμματα που προέκυψαν από τους συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων του μετεωρολογικού ραντάρ και της ραδιοβόλισης.

Γενικά, επειδή οι περισσότερες τιμές από τους συντελεστές συσχέτισης έδιναν αρνητικές τιμές, για να φανούν καλύτερα στα διαγράμματα βγήκε για κάθε έναν συντελεστή συσχέτισης η απόλυτη τιμή. Μόνο στο διάγραμμα 3 οι τιμές από τους συντελεστές συσχέτισης έμειναν όπως ήταν, δηλαδή, χωρίς να χρησιμοποιηθεί η απόλυτη τιμή.



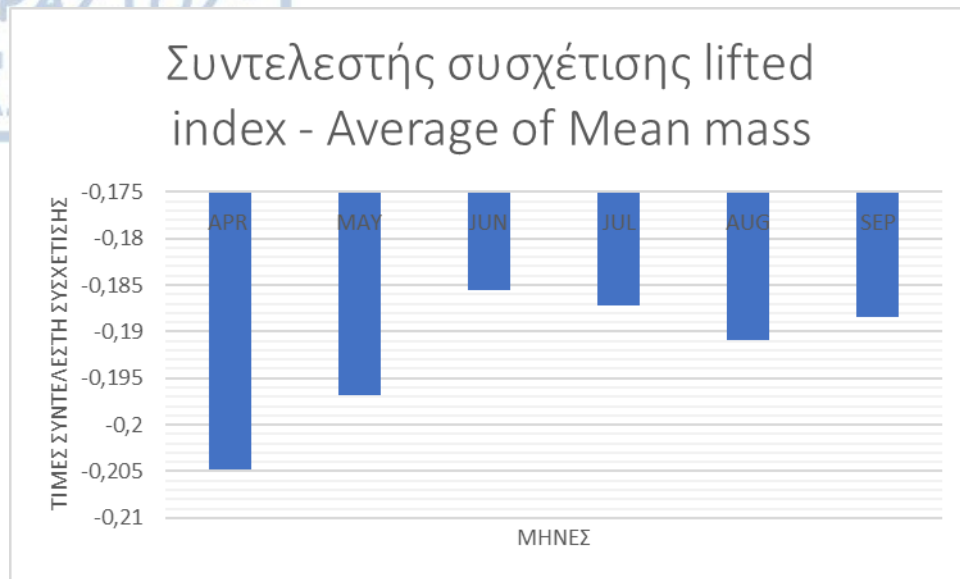
Διάγραμμα 1 : Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του Showalter index και του Average of Mean Top. Ο κατακόρυφος άξονας αναγράφει τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης και ο οριζόντιος άξονας αναγράφει τους μήνες. (Από προσωπικό αρχείο)

Αρχικά για το Διάγραμμα 1 παρατηρείται ότι υπάρχει μια συνεχόμενη αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από τον Απρίλιο μέχρι και την κορύφωση, που συμβαίνει τον μήνα Ιούλιο. Από τον Ιούλιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο, όπου σταματάνε και οι παρατηρήσεις, υπάρχει μείωση στην τιμή του συντελεστή συσχέτισης. Αυτό που φαίνεται είναι υπάρχει μια πάρα πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη αστάθειας Showalter index και του χαρακτηριστικού των κυττάρων Average of Mean Top.



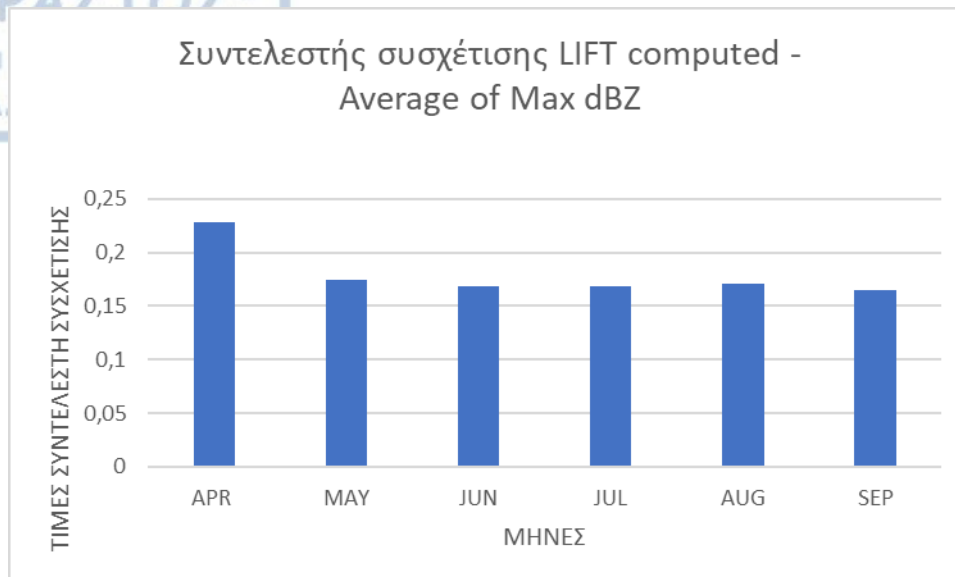
Διάγραμμα 2 : Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του SWEAT index και του Average of Max top. Ο κατακόρυφος άξονας αναγράφει τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης και ο οριζόντιος άξονας αναγράφει τους μήνες.
(Από προσωπικό αρχείο)

Ακολουθώντας, για το Διάγραμμα 2 υπάρχουν δυο μέγιστες τιμές για τον συντελεστή συσχέτισης, μια τον Απρίλιο και μια τον Ιούλιο. Πιο συγκεκριμένα, τον πρώτο μήνα των παρατηρήσεων η τιμή ($= 0,230833$) είναι η μεγαλύτερη από όλες. Ακολουθώντας μέχρι και τον μήνα Ιούνιο υπάρχει μείωση στην τιμή του συντελεστή συσχέτισης, όπου για τον επόμενο μήνα, δηλαδή τον Ιούλιο, αναγράφεται η δεύτερη μέγιστη τιμή ($= 0,216706$) και από εκεί και πέρα μέχρι και τον τελευταίο μήνα των παρατηρήσεων υπάρχει συνεχόμενη μείωση. Το συμπέρασμα που μπορεί να βγει από αυτό το διάγραμμα είναι ότι δεν υπάρχει μια καλή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη αστάθειας SWEAT index και του χαρακτηριστικού των κυττάρων Average of Max top.



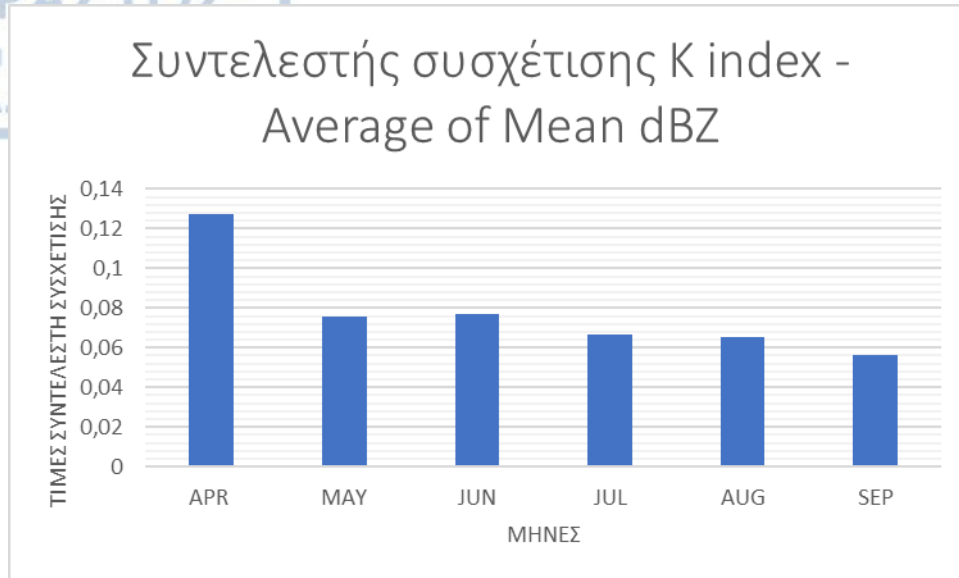
Διάγραμμα 3 : Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του lifted index και του Average of Mean mass. Ο κατακόρυφος άξονας αναγράφει τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης και ο οριζόντιος άξονας αναγράφει τους μήνες.
(Από προσωπικό αρχείο)

Για το Διάγραμμα 3, που όπως αναφέρθηκε και στην αρχή αυτού του κεφαλαίου δεν χρησιμοποιήθηκε η απόλυτη τιμή στους συντελεστές συσχέτισης και έτσι οι τιμές είναι αρνητικές. Από μια πρώτη εικόνα φαίνεται ότι αυτό το διάγραμμα μοιάζει πολύ με το Διάγραμμα 2 που αναλύθηκε παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει μια μέγιστη τιμή, αυτή του Ιουνίου (= -0,1856). Γενικά υπάρχουν μεταβολές στις τιμές, αφού μέχρι και την τιμή του Ιουνίου παρατηρούμε αύξηση στις τιμές, μετά μια μείωση μέχρι τον Αύγουστο και ακολούθως αυξάνονται οι τιμές, όπου και σταματάνε οι παρατηρήσεις. Συνοπτικά η συσχέτιση μεταξύ του δείκτη αστάθειας lifted index και του χαρακτηριστικού των κυττάρων Average of Mean mass δεν είναι καλή μιας και η τιμή r είναι αρνητική.



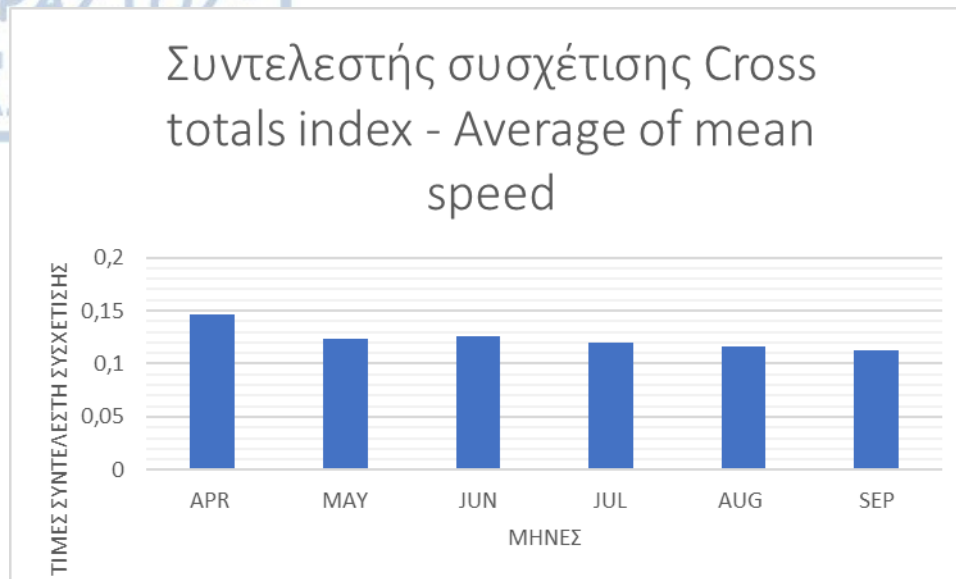
Διάγραμμα 4 : Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του *LIFT computed using virtual temperature* και του *Average of Max dBZ*. Ο κατακόρυφος άξονας αναγράφει τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης και ο οριζόντιος άξονας αναγράφει τους μήνες. (Από προσωπικό αρχείο)

Εν συνεχεία, για το Διάγραμμα 4 αυτό που αποτυπώνεται είναι ότι υπάρχει μία μέγιστη τιμή, αυτή του Απριλίου (= 0,22846), ενώ οι υπόλοιπες τιμές του συντελεστή συσχέτισης είναι σχεδόν ίσες και έτσι δεν υπάρχει κάποια μεγάλη μεταβολή στο διάγραμμα. Σε αυτό το διάγραμμα φαίνεται ότι υπάρχει μια καλή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη αστάθειας Lift computed και του χαρακτηριστικού των κυττάρων Average of Max dBZ.



Διάγραμμα 5 : Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του K index και του Average of Mean dBZ. Ο κατακόρυφος άξονας αναγράφει τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης και ο οριζόντιος άξονας αναγράφει τους μήνες (Από προσωπικό αρχείο)

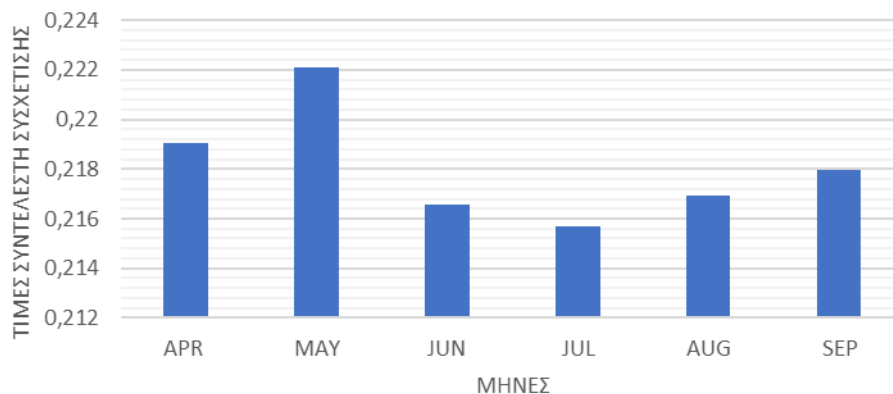
Κάτι παρόμοιος με το παραπάνω διάγραμμα συμβαίνει και στο Διάγραμμα 5, αφού όπως φαίνεται υπάρχει μια μέγιστη τιμή όπου και σε αυτή την περίπτωση είναι αυτή του Απριλίου (= 0,127081) και ακολούθως οι τιμές στους συντελεστές συσχέτισης είναι περίπου ίσοι μεταξύ τους. Και σε αυτό το διάγραμμα μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη αστάθειας K index και του χαρακτηριστικού των κυττάρων Average of Mean dBZ.



Διάγραμμα 6 : Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του Cross totals index και του Average of Mean speed. Ο κατακόρυφος άξονας αναγράφει τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης και ο οριζόντιος άξονας αναγράφει τους μήνες (Από προσωπικό αρχείο)

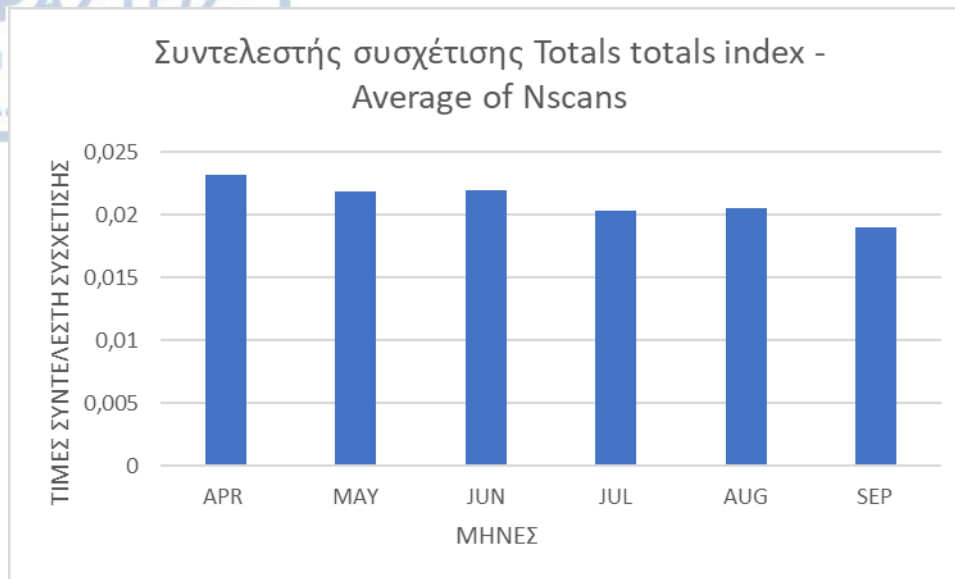
Στο Διάγραμμα 6 αυτό που φαίνεται είναι ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις τιμές των συντελεστών συσχέτισης και όλες είναι περίπου ίσες. Είναι εύκολο να φανεί ότι υπάρχουν μέγιστες τιμές αλλά όπως αναφέρθηκε είναι πολύ μικρή η διαφορά. Σε αυτό το διάγραμμα φαίνεται ότι υπάρχει μια καλή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη αστάθειας Cross totals index και του χαρακτηριστικού των κυττάρων Average of mean speed.

Συντελεστής συσχέτισης Vertical totals index - Average of mean volume



Διάγραμμα 7 : Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του Vertical totals index και του Average of Mean Volume. Ο κατακόρυφος άξονας αναγράφει τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης και ο οριζόντιος άξονας αναγράφει τους μήνες (Από προσωπικό αρχείο)

Στο διάγραμμα 7 υπάρχει μια μεγάλη διαφορά στην τιμή του Μαΐου σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές αυτού του διαγράμματος, κάτι που δεν έχει υπάρξει στα προηγούμενα παραδείγματα. Επίσης, υπάρχει μείωση στις τιμές του συντελεστή συσχέτισης στους δύο θερινούς μήνες (Ιούνιο και Ιούλιο) ενώ από τον Αύγουστο και μέχρι το τέλος των παρατηρήσεων υπάρχει αύξηση στις τιμές. Το διάγραμμα αυτό δείχνει ότι υπάρχει μια μεταβλητή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη αστάθειας Vertical totals index και του χαρακτηριστικού των κυττάρων Average of mean volume.



Διάγραμμα 8 : Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του Totals totals index και του Average of Nscans. Ο κατακόρυφος άξονας αναγράφει τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης και ο οριζόντιος άξονας αναγράφει τους μήνες. (Από προσωπικό αρχείο)

Τέλος, για το Διάγραμμα 8 όπως και στο διάγραμμα 6 δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις τιμές του συντελεστή συσχέτισης. Σε αυτό το διάγραμμα φαίνεται ότι υπάρχει μια καλή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη αστάθειας Totals totals index και του χαρακτηριστικού των κυττάρων Average of Nscans.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η παρατήρηση της ατμόσφαιρας είναι πολύ σημαντική για την εξαγωγή συμπερασμάτων για το τι συμβαίνει στις ανώτερες ατμόσφαιρες. Το μετεωρολογικό ραντάρ είναι ένα από τα χρήσιμα εργαλεία για τον μετεωρολόγο με το οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η παρατήρηση. Επιπρόσθετα, η ραδιοβόλιση η οποία πραγματοποιείται καθημερινά δύο φορές την ημέρα, ανάλογα με το αν είναι θερινή ή χειμερινή ώρα, έρχεται σαν επιπρόσθετο εργαλείο. Αυτή αποτυπώνει τους πιο σημαντικούς δείκτες αστάθειας της ατμόσφαιρας.

Στην παραπάνω εργασία ο συντελεστής συσχέτισης αποτέλεσε το στατιστικό μέτρο με το οποίο έγιναν οι συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων της ραδιοβόλισης και του μετεωρολογικού ραντάρ και μπόρεσαν να βγουν όλα τα διαγράμματα. Πιο αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου θα γίνει μεγαλύτερη ανάλυση για τα αποτελέσματα τους.

Το πρώτο από τα παραπάνω διαγράμματα (Κεφάλαιο 4, Διάγραμμα 1) είναι αυτό που έχει την καλύτερη συσχέτιση. Συνοπτικά, για τα περισσότερα διαγράμματα φαίνεται ότι υπάρχουν μέγιστες τιμές κυρίως στους θερινούς μήνες αλλά και για τον μήνα Απρίλιο, ενώ ακόμα σε κάποιες περιπτώσεις οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης ήταν περίπου ίδιες για κάθε ένα μήνα με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν διαφορές στα διαγράμματα.

Γενικά από τη συσχέτιση των δεικτών αστάθειας με τα χαρακτηριστικά των καταιγίδων προέκυψαν συσχετίσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από έντονη μεταβλητότητα. Η μεταβλητότητα αυτή μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν την ένταση, την έκταση αλλά και το δυναμικό των κυττάρων καταιγίδων που αναπτύσσονται στην περιοχή ποικιλοτρόπως. Ένας τέτοιος παράγοντας θα μπορούσε να είναι το γεγονός ότι στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν μόνο απλά (Single) κύτταρα καταιγίδων, που να μην αποτελούν το δομικό στοιχείο οποιασδήποτε καταιγίδας, αλλά «χάνεται» ένα μεγάλο κομμάτι καταιγίδων που δημιουργούνται υπό συνθήκες έντονης αστάθειας. Ένας επιπλέον παράγοντας θα μπορούσε να είναι ο καλύτερος και ακριβέστερος διαχωρισμός των κυττάρων καταιγίδας ανά συνοπτική κατάσταση ή τύπο καιρού. Οι δύο παραπάνω αναφερόμενοι παράγοντες θα μπορούσαν να αποτελέσουν περαιτέρω έρευνα και μελέτη της συγκεκριμένης έρευνας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

John A. Ackerman, Steven A.; Knox, 2013, Meteorology: Understanding the Atmosphere

Bidner, A., 1970: The Air Force Global Weather Central severe weather threat (SWEAT) index - A preliminary report. Air Weather Service Aerospace Science Review. AWS RP 105-2, No. 70-3, 2-5.

Howard B. Bluestein, 1993, Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes: Volume II: Observations and Theory of Weather Systems: Observations and Theory of Weather Systems

Eda Cinaroglu, 2019, A Data Mining Application of Local Weather Forecast for Kayseri Erkilet Airport

Galway, J. G., 1956: The lifted index as a predictor of latent instability. Bull. Amer. Meteor. Soc., 37, 528-529.

George, J. J., 1960: Weather Forecasting for Aeronautics. Academic Press, NY, 673pp.

Miller, R. C, 1967: Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Military Weather Warning Center. Tech. Report 200, AWS, USAF. [Headquarters, AWS, Scott AFB, 1L 62225]

Randy A. Peppier, 1988, A REVIEW OF STATIC STABILITY INDICES AND RELATED THERMODYNAMIC PARAMETERS

Showalter, A. K., 1953: A stability index for thunderstorm forecasting. Bull. Amer. Meteor. Soc., 34, 250-252.

Χαράλαμπος Γναρδέλλης, 2020, Επαγωγική Στατιστική Συσχέτιση – Συντελεστές συσχέτισης

Αικατερίνη Δραχαλιβα, 2018, ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΧΑΛΑΖΟΚΑΤΑΪΓΙΔΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Γεράσιμος Σ. Λιναρδάτος – Διονύσης Σ. Λιναρδάτος, 2021, Ραντάρ

Μπαλτάς Ευάγγελος (1996, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)), ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΑΤΑΪΓΙΔΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΕΟΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΡΑΝΤΑΡ



Δημήτριος Μπαμπζέλης, 2013, ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΑΥΞΗΣΗΣ ΒΡΟΧΗΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σπύρος Β. Παυλίδης, Αλέξανδρος Α. Χατζηπέτρος, 2018, ΓΕΩΣΥΣΤΗΜΑ <<ΓΑΙΑ>> Κατανοώντας τη δομή και τη λειτουργία του πλανήτη μας

Μιχαήλ Σιούτας, 2018, Μετεωρολογικό Ραντάρ και πρόγνωση σφοδρών καταιγίδων και πλημμυρών

WW2010. Department of Atmospheric Sciences (DAS) at the University of Illinois at Urbana-Champaign.

<https://www.3dsa.gr/el/drasthriothtes/meteorologikes-efarmoges>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Covariance>

https://en.wikipedia.org/wiki/Pearson_correlation_coefficient

Μπρίκας Δημήτριος, Από πρακτική στην ΕΜΥ

ΕΙΚΟΝΕΣ – ΣΧΗΜΑΤΑ

Εικόνα 1:

<https://sciencestruck.com/atmosphere-layers-in-order>

Εικόνα 2:

https://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz

Εικόνα 3:

<https://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/06/Sioutas.pdf>

Εικόνα 4 :

<https://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/doppler.htm>

<https://www.wfae.org/local-news/2017-04-03/new-effort-to-close-what-some-see-as-dangerous-weather-radar-gap-around-charlotte>

Εικόνα 5:

http://research.atmos.ucla.edu/weather/C110/Documents/tmp/basic_wxradar/navmenu.php_tab_1_page_2_1_0_type_text.htm

Εικόνα 6:

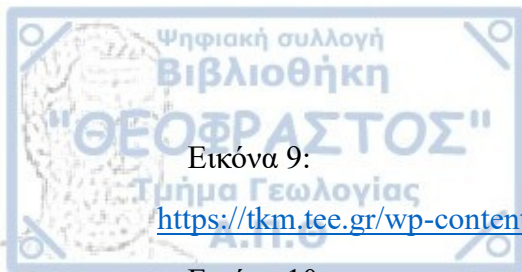
<https://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/06/Sioutas.pdf>

Εικόνα 7:

<https://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/7922?lang=el#page/16/mode/2up>

Εικόνα 8:

<https://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/06/Sioutas.pdf>



Εικόνα 9:

<https://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/06/Sioutas.pdf>

Εικόνα 10:

Από προσωπικό αρχείο

Εικόνα 11:

[http://ww210.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/rs/rad/basics/cnmod.rxml](http://ww210.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/rs/rad/basics/cnmod.rxml)

Εικόνα 12:

[http://ww210.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/wwhlpr/elevation_angle.rxml?hret=/guides/rs/rad/basics/cnmod.rxml](http://ww210.atmos.uiuc.edu/(Gh)/wwhlpr/elevation_angle.rxml?hret=/guides/rs/rad/basics/cnmod.rxml)

Εικόνα 13:

[http://ww210.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/wwhlpr/azimuth_angle.rxml?hret=/guides/rs/rad/basics/cnmod.rxml](http://ww210.atmos.uiuc.edu/(Gh)/wwhlpr/azimuth_angle.rxml?hret=/guides/rs/rad/basics/cnmod.rxml)

Εικόνα 14:

[http://ww210.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/rs/rad/basics/cnmod.rxml](http://ww210.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/rs/rad/basics/cnmod.rxml)

Εικόνα 15:

<https://weather.uwyo.edu/surface/meteorogram/europe.shtml>

Εικόνα 16 :

<https://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding?region=europe&TYPE=TEXT%3ALIST&YEAR=2024&MONTH=10&FROM=1500&TO=1500&STNM=16622>

Εικόνα 17 :

<https://ecozen.gr/2020/02/ta-meteorologika-mpalonia-radiovolisi>

Εικόνα 18 :

<https://el.wiktionary.org/wiki/ραδιοβολίδα>

Εικόνα 19 :

https://www.researchgate.net/figure/Upper-air-sounding-for-Wyoming-on-10July-1996-00-UTC_fig3_241272601

Εικόνα 20,21,22,23 :

<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/AS122/Μεταπτυχιακό%20-%20Βιώσιμη%20Αλιεία%2C%20Υδατοκαλλιέργεια%204.pdf>